

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

Metoder för rekultivering av packnings- skadad mark i urban miljö

**Methods for Recultivation of Compacted Soil in
Urban Areas**

Kaj Rolf

Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

Rapport 169

Report

Uppsala 1993

ISSN 0283-0086

ISRN SLU-LT-R--169--SE

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK,
Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande Sveriges Lantbruksuniversitet Inst f lantbruksteknik avd f park- och trädgårdsteknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1993	Målgrupp R, P
Författare/upphov Rolf, Kaj			
Dokumentets titel Metoder för rekultivering av packningsskadad mark i urban miljö Methods for Recultivation of Compacted Soil in Urban Areas			
Amnesord (svenska och /eller engelska) Jordpackning, mekanisk luckring, pneumatisk luckring, stadsjordar, markfysik, penetrationsmotstånd, tillväxt Soil compaction, mechanical subsoiling, pneumatic subsoiling, soil aerators, urban soils, soil physics, penetration resistance, tree growth			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Institutionen för lantbruksteknik Rapport 169			ISBN/ISRN SLU-LT-R-169-SE ISSN 0283-0086
Språk Svenska	Smf-språk Engelska	Omfång 55 + bilagor	Antal ref. 98

Postadress

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Uttunabiblioteket, Förvärvsavdelningen/LANTDOK
Box 7071
S- 750 07 UPPSALA
Sweden

Besöksadress

Centrala Ultuna 22
Uppsala

Telefonnummer

018-67 10 00 vx
018-671103

Telefax

018-3010 06

FÖRORD

Denna rapport utgör en redovisning av projektet "Metoder för rekultivering av packningsskadad mark i urban miljö" (BFR 870076-6). Projektet har genomförts på Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruks-teknik, avd för park- och trädgårdsteknik av landskapsarkitekt Kaj Rolf under handledning av bl a Agr Dr Hans Jørgen Olsen, Institutionen för lantbruksteknik och Professor Inge Håkansson, Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala

Rapporten skall, när den skrivits om på engelska, utgöra material för en agonomie licentiat avhandling. Rapporten presenterar 3 uppsatser:

I. Rolf K. 1991. Soil improvement and increased growth response from subsoil cultivation. Journal of Arboriculture. 17(7), 200-204.

II. Rolf K. 1992. Soil physical effects of pneumatic subsoil loosening using a Terralift soil aerator. Journal of Arboriculture. 18(5), 235-240.

III. Rolf K. 1992. Soil- compaction and loosening effects on soil physics and tree growth. (submitted to Arboricultural Journal)

Jag vill tacka Statens Råd för Bygghforskning för att de har möjliggjort projektet och alla mina rådgivare och medarbetare på Sveriges Lantbruksuniversitet för uppmuntran och lämpliga korrigeringar. Ett speciellt tack till Susanne Hansson, Magnus Nilsson och Cecilia Nylander för deras hjälp med cylinderprovtagning mm under kalla regniga höstdagar.

Alnarp, november 1992

Kaj Rolf

Summary

The effects of subsoil compaction, topsoil compaction, mechanical subsoiling with an excavator and pneumatic subsoiling using a Terralift soil aerator on a number of soil physical parameters and plant growth on five tree species, were measured at two sites with sandy loam and loam over clay loam, respectively. The compactions were made under controlled conditions before subsoiling and planting.

Compaction had a negative influence on soil physics and plant growth. Soil bulk density was increased and pore volume, airfilled porosity at field capacity and air permeability decreased. Penetration resistance was higher for both sites compared to untreated controls. Plants had less yearly growth and were smaller than the plants in the controls, 4 years after planting.

The excavator was used to study the ability of that method to reduce the negative effects of soil compaction. Results showed that soil bulk density was reduced and pore volume and airfilled porosity at field capacity had increased. Penetration resistance was lowered for both sites. Plants were, 4 years after planting, higher at the subsoiled sandy soil but not at the clay soil, compared with the controls.

The effects of pneumatic subsoiling using a Terralift soil aerator was studied to test the equipments ability to solve soil physical problems in existing plantations. In the sandy loam, aeration led to a decreased bulk density, an increase in porosity (mainly as an increase in macro-porosity) and an increase in saturated hydraulic conductivity and air permeability. Penetration resistance was lowered at this site. After aeration at the loam soil site, measurements indicated that bulk density increased, porosity decreased, there were no changes in saturated hydraulic conductivity and a small increase in air permeability.

The projekt was financed by the Swedish Council for Building Research.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	1
1.1 Projektet, dess bakgrund och avgränsning	1
1.2 Syfte	2
2 LITTERATUR	4
2.1 Packad mark	4
2.1.1 Packningsprocessen i marken	4
2.1.2 Konsekvenser för växten	7
2.2 Djupluckring	10
2.2.1 Mål	10
2.2.2 Jordar i behov av luckring	10
2.2.3 Marktillståndet vid luckring	12
2.2.4 Luckringsmetoder	13
2.2.4.1 Luckring med mekanisk alvluckrare	15
2.2.4.2 Luckring med grävmaskin	20
2.2.4.3 Luckring med tryckluft	22
2.2.4.4 Luckring med sprängämnen.	26
3 FÖRSÖKSPLATSER OCH METODER	27
3.1 Försöksplatsernas läge	27
3.2 Bakgrundsinformation	27
3.2.1 Alnarp	27
3.2.2 Landskrona	28
3.3 Försökens uppläggning	28
3.4 Provtagning	30
3.5 Markfysikaliska analyser	31
3.5.1 Laboratorieanalyser	31
3.5.2 Fältmätningar	32
3.6 Markkemiska analyser	33
3.7 Skördeanalyser	33
3.8 Statistiska analyser	33
4 DISKUSSION AV FÖRSÖKEN	35
4.1 Markkemiska förhållanden	35
4.2 Markfysikaliska förhållanden	35
4.2.1 Textur	35
4.2.2 Vattengenomsläpplighet	36
4.2.3 Volymsrelationer	37
4.2.4 Genomsläpplighet för luft	38
4.2.5 Korndensitet och torr skrymdensitet	39
4.2.6 Penetrationsmotstånd	39
4.3 Tillväxt och rotmorfologi	40
4.4 Skörd av korn	44
5 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	45
6 LITTERATURFÖRTECKNING	49
7 BILAGOR	55

1 INLEDNING

En väl fungerande fysikalisk, kemisk och biologisk miljö är en grundförutsättning för att växter skall utvecklas på ett för varje art riktigt sätt. Marken utgör en grundresurs för växterna och studiet av markens betydelse för växten är viktig för att förstå dess utveckling.

Marken i urban miljö påverkas i regel kraftigt under byggprocessens olika skeden. Jord transporteras, läggs i upplag, blandas med andra material, bearbetas och används som underlag för tung trafik. Under dessa arbeten påverkas jordens fysikaliska, kemiska och biologiska status.

Denna rapport tar upp bakgrunden till varför marken ser ut och fungerar som den gör i urbana miljöer. Som en konsekvens av den markförstörelse som framförallt byggindustrin orsakar, är det nödvändigt att finna metoder att åtgärda dessa markskador om marken skall användas som grönyta. Rapporten beskriver några av dessa metoder.

Rapporten innehåller en diskussion kring de resultat som försöken har gett och innehåller som bilagor de artiklar som har publicerats internationellt och några försöksresultat som inte publicerats på annat sätt.

1.1 Projektet, dess bakgrund och avgränsning

De senaste 30 årens utveckling inom byggteknikområdet har gjort att fler maskiner används och dessa har blivit både större och tyngre. På sina håll används t o m vägbyggnadsteknik på blivande grönytor dvs jorden läggs ut i skikt som dessutom packas.

Denna tekniska utveckling har medfört att marken packas i allt högre grad. Det har uppstått strukturförändringar i marken som gör att det planterade växtmaterialet inte får de rätta markfysikaliska förhållandena. Vattnets transport genom marken och rötternas förmåga att ta sig fram har begränsats. Vattenöverskottet som uppstår ger i sin tur syrebrist i marken, som ofta ger följdreaktioner som är skadliga för växten.

I urbana sammanhang har väldigt lite uppmärksamhet ägnats åt växternas markfysikaliska miljö. Växternas dåliga tillväxt har observerats, men motåtgärderna har till största delen baserats på gissningar och antaganden. Till exempel skyller man ofta på att det är fel på växtmaterialet och dess hantlande eller på att jordens näringsinnehåll är i obalans.

Problemet med packad mark finns hos de flesta förvaltare av grönytor inom den urbana miljön. Det finns anledning att anta att dessa packningsskador indirekt kostar en hel del pengar, i form av insatser i som dränering, gödsling, ökad ogräsbekämpning osv som inte åtgärdar orsakerna utan endast är symptom på problemen. Det uppsatta målet för anläggningen nås inte och den ej tillfredsställande miljön kan skapa missnöje hos de boende där vegetationen, genom ett förlängt etableringsskede och en stressad miljö ej är stark nog att motstå slitage, vilket gör boendemiljön än sämre.

Troligtvis blir packningsgraden högre i urban miljö än på jordbruksmark, beroende på tyngre maskiner och en annorlunda packningsprocess där marken ältas och knådas mer. En stor orsak till detta är att marken bearbetas och körs på när den inte är lämplig för detta och kunskapsnivån hos många entreprenörer om det skadliga i detta är låg. En bonde som måste leva på vad marken ger skulle aldrig utsätta marken för denna åverkan. När packningsskador uppkommer på jordbruksmark finns alltid möjligheten att åtgärda

marken efter skörd men denna möjlighet finns ännu inte i långa vedartade kulturer. En bidragande orsak till skadorna är också den tidspress som råder på en byggarbetsplats och i vissa fall måste man acceptera att skador uppstår. Detta projekt inriktades mot att pröva metoder för att återställa markens fysikaliska status så långt det var möjligt.

Det är väsentligt att förstå hur packningsskador uppkommer och kunna identifiera dessa för att kunna sätta in rätt behandlingsmetod.

Man kan dela in packningsskadorna i urbana sammanhang i 1) de som orsakas av husbyggaren, 2) de som uppkommer vid grönanläggning och 3) de som är återkommande.

Vid husbyggandet används maskiner som har både höga däckstryck och höga totalvikter. Den moderna husbyggnadstekniken är sådan att allt material som används, körs fram till huskroppen. Byggarna har ingen kunskap om markpackning som något skadligt utan transporter sker oavsett framtida markanvändning. Dessa packningsskador är stora och måste åtgärdas på framtida vegetationsytor.

Vid grönanläggning får man olika typer av skador beroende på typ av arbete. Även här kan man få djupgående skador beroende på att vägbyggnadsteknik används vid massbalansering och matjordsutläggning. Man lägger ut jordmassorna i tunna skikt och planar ut dessa genom att köra fram och tillbaka med t ex en hjullastare. Det byggs upp en profil av återkommande packade tunna skikt. Det vanligaste är dock att körning sker på terrassen och sedan läggs matjorden ut enligt ovan. Beskrivningarna säger nästan alltid att terrassen skall luckras, men inte hur och framförallt finns det ingen bra och billig kontrollmetod för att se om terrassen verkligen är luckrad. Detta resulterar i att träd och buskars rotutveckling begränsas till det översta matjordslagret och att man kan få problem med vattengenomsläppligheten i terrassen. Gräsytor klarar som regel av denna typ av packning om matjorden inte packats vid utläggningen.

De återkommande packningarna av mark kan vara ytliga som djurs och människors tramp. De kan vara medeldjupa från trafik av lättare skötselfordon och mer djupgående som orsakas av de ständiga vibrationer som finns från trafik i stadsmiljön. De ytliga är vanligtvis lätta att åtgärda medan de mer djupgående från vibrationer är svåra att komma åt och det är svårt att förhindra återpackning eftersom vibrationerna alltid kommer att finnas där.

1.2 Syfte

Syftet med detta projekt var:

- att studera och utvärdera olika metoders och utrustningars möjligheter att rekultivera mark med packningsskador.
- att utvidga kunskapen om trädens och andra vedartade växters rotfunktioner. Rötternas krav är basen för vilka åtgärder som är lämpliga.
- att genom konkreta försök med teknik för rekultivering av packningsskadad mark, ta fram:
 - a) metoder för åtgärder vid nyanläggning och miljöförbättringar
 - b) metoder för åtgärder efter anläggning i befintliga grönytor

Dessa rekultiveringsmetoder skall användas för att undvika den dåliga vegetationsutveckling som idag finns på packningsskadad mark. Därmed undanröjs markfaktorn som orsak till dåligt etablerad vegetation och höga underhållskostnader.

2 LITTERATUR

2.1 Packad mark

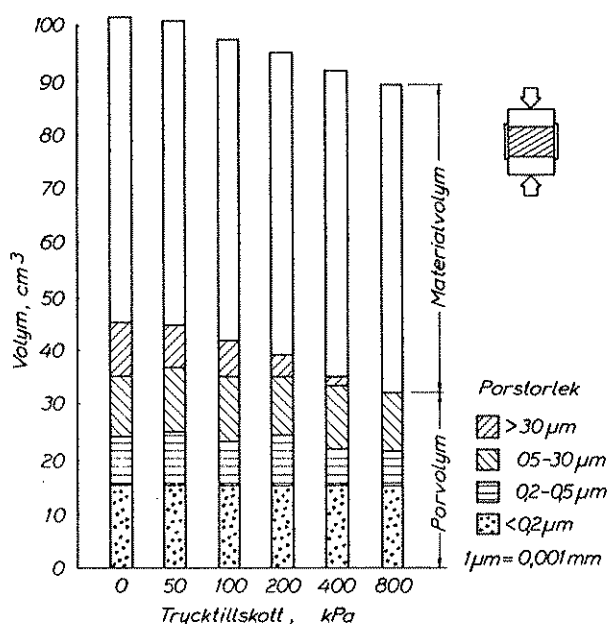
2.1.1 Packningsprocessen i marken

När ett hjul rullar på en jord så skiljer det en hel del mot vad som händer när det rullar på en väg. Bara under exceptionella förhållanden så har jorden en tillräcklig styrka att motstå lasten som blir applicerad på ytan och förhindra att spänningar och brott uppstår. Arten och omfånget av dessa spänningar i jorden beror på de fysikaliska egenskaperna hos både hjulet och jorden. Vertikala krafter (marktrycket) och horisontella krafter (ältning, slirning) överförs från hjulet till jorden. Lufttrycket i däck, storleken och däckstyp styr fördelningen av krafter på kontaktytan däck-jord, som primärt beror av jordens ursprungliga tillstånd. Om motståndet hos jorden inte är tillräckligt stort så får vi en packning av jordmaterialet. Detta är vad vi ser som ett spår i marken.

Packning förändrar porvolymen och porstrukturen hos en jord. En närmare granskning av jordmaterialet kan visa att makroporerna minskar i storlek och antal och att porernas form och kontinuitet har ändrats. Dessa förändringar kan, i en större skala, ses som förändringar i "packningsstatus" dvs förhållanden som beskriver volymsförhållanden vad gäller jordens fasta fas, flytande fas och gasfas (portal, porvolym, volymvikt osv). Förändringar i volymvikt behöver i sig inte vara så viktigt för planttillväxten som det, som är associerat med detta, som t ex minskningen i genomsläpplighet för luft och vatten genom porsystemet.

Vid momentan belastning av en punkt på markytan uppstår i markprofilen påkänningar, som kan ge upphov till både elastiska rörelser och kvarstående deformationer, vilkas omfattning är beroende av belastningens storlek och de rådande förhållandena i profilen. I marken finns ett antal porer, sprickor och hålrum av olika storlek, från några tiotusendels millimeter till en eller flera centimeter. Ju mindre porerna är desto större är deras hållfasthet mot yttre påkänningar. De för dränering och luftutbytet viktiga makroporerna, (större än 0,03 mm, enligt definition av Eriksson m fl, 1974) hör till de svagare. I en normal markprofil finns sålunda en fördelning av porer med olika hållfasthet mot mekaniska påkänningar. Även om man inte kan utläsa förändringar i porvolym så sker fullt mätbara elastiska rörelser ner till en meters djup även vid förhållandevis små belastningar - två till fyra tons axeltryck (Eriksson m fl, 1974).

Den primära verkan av påkänningar på marken är minskad total porvolym, och i första hand påverkas de grova porerna (Eriksson, 1976). Figur 2.1 visar förändringarna i porvolym och porstorleksfördelning vid stigande trycktillskott. Det är de grova porerna, som är så viktiga för en god vatten- och luftgenomsläpplighet, som redan vid trycktillskott av 200 kPa börjar anta kritiskt små värden, för att vara helt sammantryckta vid 800 kPa (Eriksson m fl, 1974). Sommer (1976) rapporterar att en, i laboratorium, påförd statisk last ger en större förlust av porer > 0.01 mm hos en jord som störts än hos en ostörd. Andelen porer < 0.02 mm visade ingen eller liten förändring när jorden utsattes för en belastning av 400 kPa för både störda och ostörda jordprover. Aura, (1983) fann att trafik minskar skördeavkastningen kraftigt när andelen stora porer på 10-15 cm djup minskas till 10% eller mindre.



Figur 2.1. Förändring i porvolym och porstorleksfördelning vid stigande trycktillskott. Grävsta, Uppsala län, horisont 40,0-42,5 cm, välaggregerad lerjord, lerhalt 40 % (ur Eriksson m fl, 1974).

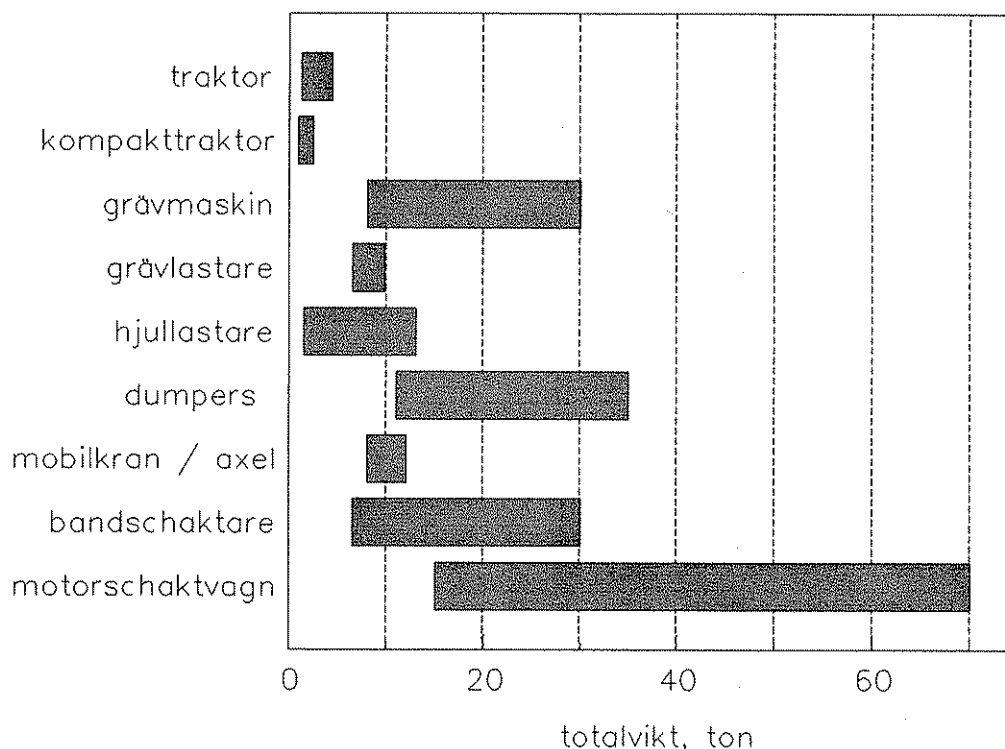
Packning minskar diametern och kontinuiteten hos porerna och reducerar därmed permeabiliteten och diffusionen av gaser och vätskor i jorden. Dessa förändringar i porstruktur kan minska tillväxten hos en gröda (Grable, 1971). Permeabiliteten är mer känslig för förändringar i porstruktur pga packning än diffusionen är (Ball, 1979). De Haan och Van der Valk (1970) fann en minskning i porvolym och hydraulisk konduktivitet i en blomsterlöksodling där marken packats genom trafik. Trowse (1966) fann att infiltrationen, efter körning med ett lätt fordon 8 ggr, minskade från 323 till 2 mm/h.

Aura (1983) fann också att den mättade hydrauliska konduktiviteten minskade i packad jord. Eftersom strömningshastigheten för vatten i ett smalt rör är proportionellt till kvadraten på radien för röret, så kommer små förändringar i andelen stora porer att betyda stora förändringar i konduktivitet (Rasmussen, 1976). Dvs bara en liten höjning av andelen makroporer ger en klart förbättrad genomsläpplighet för vatten.

Allvarligast blir jordpackningen när jordbearbetning eller körning sker under våta förhållanden. Aura (1983) fann att volymandelen stora porer minskades och alven (35-40 cm) packades när det var mycket blöta förhållanden. Ljungars (1977) konstaterar i en undersökning av 8 olika jordar att de största variationerna i packningsgrad uppstod i lerjordar och mjälarika jordar, då jorden packades vid varierande fuktighetsförhållanden. Ljungars (1977) anser att vattenhalten vid körning är den viktigaste parametern att beakta för att undvika skadlig packning. Vatten fungerar som smörjmedel mellan partiklar och aggregat och friktionen i jorden minskar. Lerjordar och de jordar som innehåller stora mängder utbytbar Ca är mycket känsliga för packning om de innehåller ett överskott på vatten (Martin, 1968). Torra jordar och sådana med grov textur är mindre känsliga för packning (Hatchell m fl, 1970)

Håkansson m fl (1987) konstaterar i en studie av 26 olika jordar med belastningar på 10 ton att axeltryck högre än 10 ton aldrig skall användas. På känsliga jordar eller där man ofta kör under våta förhållanden skall det maximalt tillåtna axeltrycket vara lägre. Annars är det en risk för att trafiken kommer att förstöra jorden för årtionden framåt.

Några av de maskiner som i idag används på en byggarbetsplats finns redovisade i figur 2.2. Där anges totalvikterna (Entreprenad skogsmaskiner, 1987-88; Trädgårdsmaskiner, 1990/91) för maskinerna och det är lätt att konstatera att flera av dessa maskiner kommer att orsaka en kraftig packning av jorden och bör därför inte användas på mark som senare skall utgöra grönytor.



Figur 2.2. Totalvikter för några vanligt förekommande maskiner på en byggarbetsplats. För mobilkran är axeltrycket angivet.

För att minska marktrycket kan tre olika faktorer varieras nämligen däckslasten, däcksdimensionen och däckstrycket. Genom att justera dessa faktorer, ensamma eller i kombinationer, är det möjligt att öka, minska eller hålla marktrycket konstant. Några av de viktigaste varianterna redovisas i tabell 2.1. Marktrycket kan minskas genom att minska lasten (fall 1), öka däcksbredden (fall 2) eller minska lufttrycket i däcket (fall 3). Det allra mest effektiva sättet att minska marktrycket vore att kombinera alla dessa tre effekter (fall 7), men detta är i praktiken mycket svårt utan att helt bygga om maskinerna. Däremot kan en god effekt nås genom att använda sig av fall 5 eller 6. Genom att öka eller minska både last och däcksbredd (fall 4) så nås ingen effekt på marktrycket. (Soane m fl, 1981 b)

Man skall dock hålla i minnet att om man ökar både last och däcksbredd så hålls marktrycket konstant men packningen går djupare (Söhne, 1958; Blackwell & Soane, 1981). Däckstrycket bestämmer en skadas omfattning och axeltrycket hur djupt denna skada går.

Tabell 2.1. Exempel på möjligheterna som finns att minska eller behålla marktrycket under däck konstant. (Efter Soane m fl, 1981 b)

Fall	Oberoende variabel			Beroende variabel
	Last	Däcksbredd	Däckstryck	Marktryck
1	-	0	0	-
2	0	+	0	-
3	0	0	-	-
4	+/-	+/-	0	0
5	-	0	-	-
6	0	+	-	-
7	-	+	-	-

+ = ökande; - = minskande; 0 = konstant

Det biologiska livet i marken påverkas av packning. Eriksson (1976) fann att i en styv lera som utsatts för totalvikter på upp till 50 ton, hade antalet maskhål på 30 cm djup minskat från 1680 till 640/m². Under 50 cm djup var förekomsten ungefär lika. Han konstaterade en minskad vattengenomsläpplighet i den packade leran. Detta torde bero på maskhålens betydelse för dräneringen.

Många markorganismer är beroende av markens syresättning och eftersom markens gasutbyte påverkas av packningen så kommer också antal och arter att variera beroende på markens syrestatus.

2.1.2 Konsekvenser för växten

Markluften är källan för det syre som växterna förbrukar vid sin rotandning. Den är också mottagare av den koldioxid som bildas av växterna vid rotandningen och av mikroberna i marken. Genom rotandningen förbrukas normalt 5 - 20 liter syre per dygn och kvadratmeter (Russel, 1973) och detta kräver goda förbindelsevägar i marken med atmosfärens syre, alltså inte bara en tillräcklig andel makroporer utan också en kontinuitet i porsystemet.

Markluften är väsentlig för de biologiska och kemiska markprocesserna. Utbredningen av växternas rotsystem, rötternas andning och näringsupptagning och markdjurens förekomst är direkt förknippade med markluftens mängd och sammansättning.

Medan markluftens mängd beror av den totala porvolymen och markens aktuella fuktighetstillstånd så beror markluftens sammansättning i första hand på de biologiska processernas aktivitet och hur intensivt utbytet är mellan markluften och atmosfären. Produktionen och borttransporten av koldioxid och ersättningen av konsumerad syrgas varierar med varje förändring i struktur, vattenhalt och temperatur i marken.

Gastransporten i markporerna kan dels ske som diffusion, dvs molekylrörelser i en stillastående luftmassa och dels som masstransport, dvs strömning av hela luftmassan. Diffusionen är proportionell mot den sammanlagda luftfyllda porytan. Strömningen är därutöver beroende av en viss andel grova porer med litet strömningsmotstånd.

Romell (1922) konstaterade att den huvudsakliga transporten av syre i marken sker genom diffusion även om senare undersökningar (Edling, 1973) anför skäl för att även masstransporten kan vara av betydelse i vissa situationer.

Flera faktorer påverkar diffusionshastigheten hos gaser. Diffusionshastigheten ökar med ökande temperatur och i övrigt påverkar de diffunderande gasernas densitet, genom att diffusionshastigheten är omvänt proportionell mot kvadratroten av deras densitet. Mediet i vilken diffusionen föregår påverkar så att ju mera koncentrerat medium desto långsammare diffusion. Dessutom påverkar diffusionstrycksgradienten, dvs skillnaden i koncentration mellan den plats där gaserna finns och dit de diffunderar. (Nilsson, 1975)

Levande vävnad som är beroende av konstant tillgång av syre utgör i sig själv en diffusionsbarriär som är fyra gånger så stor som vatten. När celler eller vävnader är små eller tunna är diffusionsvägen kort. I tjockare vävnad behövs en mycket högre syrgaskoncentration i omgivningen för att säkra en tillräcklig tillförsel. Diffusionsprocessen inuti roten kan vara en begränsande faktor i rotandningen även när syrgaskoncentrationen är tillräcklig på rotens yta. Koncentrationen utanför roten måste dock vara högre än ett "kritiskt värde" för att tillfredsställa rotrespirationens krav. (Lemon, 1962)

Det är svårt att ge ett generellt gällande värde för vilken syrgaskoncentration i markluften som är kritisk för rotens tillväxt, eftersom olika parametrar är inkopplade. Det kritiska värdet är mycket artskilt och beror bl a av syrgasförbrukningshastigheten i rotvävnaden, rotens diameter (varierar med växtslag och art) och tjockleken på den vattenmättade zonen runt roten, som varierar med markens struktur och vattenhalt (Lemon, 1962). Eriksson m fl (1974) anger att man experimentellt kunnat visa att denna vattenfilm först vid ett vattenavförande tryck motsvarande 1 m dränering antar en tjocklek som tillåter optimal syretillförsel och rottillväxt.

Edling (1986) ger dock följande vägledande värden för normal åkermark med gröda, där inga extrema förhållanden råder:

- a) markluftsinnehållet skall överstiga 10 %,
- b) syrgasinnehållet i markluften skall överstiga 10 %
- c) luftgenomsläppligheten i jorden skall vara högre än 400 cm/min.

Även Grable och Siemer (1968) anser att diffusionen kan upphöra när den luftfyllda porositeten reduceras till mindre än 10 %. Richards och Cockroft (1974) fann att rottillväxten hämmades när packningen minskade markluftsinnehållet till under 15 % och rottillväxten var obefintlig när det sjönk till 2 %.

Flera forskare har också angivit 10 % syrgasinnehåll i markluften som ett gränsvärde för träd, som hos *Pinus contorta* (Lees, 1972) och citrusträd (Patt m fl, 1966).

Vattenhalten i marken är ytterst viktig för syrets tillgänglighet för rötterna eftersom syrgasdiffusionen sker 10 000 gånger snabbare i luft än i vatten. Packad mark har en hög andel vattenhållande porer och på jordar med dålig genomsläpplighet lider växterna ofta av syrebrist.

När en otillräcklig mängd syrgas finns i marken blir rotandningen ineffektiv och frigör inte tillräckligt med energi för att upprätthålla väsentliga rotfunktioner som t ex näringsupptagningen. Syrebrist påverkar också rotcellernas membran så att joner kan lämna roten som läckage (Rosén & Carlson, 1984).

Vid dålig genomluftning av marken så minskar både vattenupptagningen och avdunstningen hos växten. Vid begynnande syrebrist minskar vattenupptagningen p g a en minskning i permeabiliteten hos rotvävnaderna, speciellt endodermis. Detta kan bero på koldioxidens speciella roll. Surheten, viskositeten och permeabiliteten hos cellplasman påverkas vid höga koldioxidhalter. (Nilsson, 1975)

Goda och dåliga syreförhållanden kan uppstå i marken beroende på olika syrgaskonsumtions- och ventilationsförhållanden. De viktigaste faktorerna i syrgaskoncentrationen som funktion av djupet är fördelningen av aktiviteten i profilen och luftgenomsläppligheten i de övre jordlagren. Hög aktivitet på djupet och dålig luftgenomsläpplighet på ytan leder till syrgasunderskott. En relativt ytlig packningsskada kan alltså även ge klart negativa effekter i hela profilen. Speciellt viktigt är detta vid fleråriga kulturer där ingen ytlig markbearbetning görs varje år. Packning orsakar en dispergering av jordens ytstruktur och reducerar därigenom luftväxlingen och tillväxten. I motsats till konduktiviteten är syrets diffusionskoefficient bestämd genom den totala luftfyllda porvolymen. Packning orsakad av normal trafik på en yta ger ingen syrebrist i de inter-aggregära porerna om ytstrukturen inte är dispergerad eller det finns en skorpa på markytan (Aura, 1983).

Olyckligtvis hindras också gasutbytet mellan atmosfären och markluften i stadsmiljö av olika typer av beläggningar eller en tät grässvål.

En del högre växters organ kan tåla anaeroba förhållande under perioder från några timmar till flera månader. Detta motsvarar den tid som den mitokondriska strukturen kan motstå en irreversibel degenerering. Tillväxten kan inte fortgå hos högre växter under anoxi, dvs syrebrist i vävnaderna, utom hos några högt specialiserade växter som t ex ris (*Oryza sativa*), vilka har speciella organ för syretransport. (Jackson & Drew, 1984)

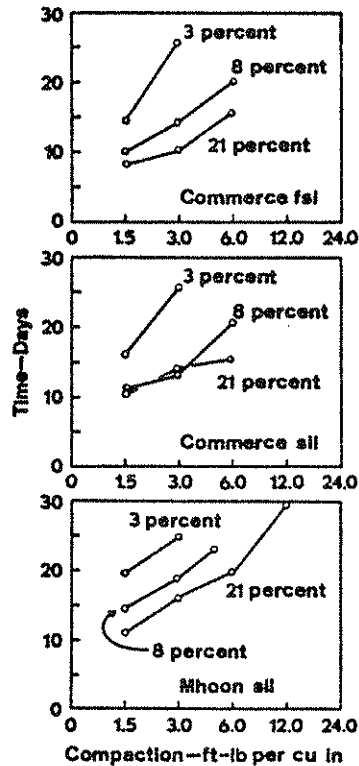
Syrebrist är speciellt kännbart för växter under deras tidiga utveckling, dvs direkt efter att ett frö har grott. Speciellt cellsträckningen påverkas. Även unga plantor, utan ett väl utvecklat rotsystem, är känsliga och eftersom plantan måste utveckla nya rötter på våren så kommer en syrebrist att vara speciellt skadlig under denna period. (Hoeks, 1972)

Det har även visats, att om syreförsörjningen försämras, så går inte bara rötternas tillväxthastighet ner utan också deras förmåga att övervinna mekaniskt motstånd (Håkansson, 1983). Hopkins och Patrick (1969) presenterade resultat från experiment som gick ut på att studera syrehaltens och markpackningens effekter på rotpenetrationen.

Resultaten visar ett klart samband mellan packning och syreinnehåll i marken. Experimenten visade (figur 2.3) att det råder ett samband mellan rotpenetration och jordens packningsgrad när syrgasinnehållet var så lågt att rötterna inte fungerade riktigt och att rotpenetrationen och syreinnehållet har ett samband där packningsgraden inte är så hög att det mekaniska motståndet utgör en begränsande faktor för penetrationen. Hopkins och Patrick (1969) menar också att i jordar med finare textur kan syrehalten vara en mer

begränsande faktor för rotpenetrationen än det mekaniska motståndet. Packade jordar med hög lerhalt kan vara plastiska nog att tillåta rotpenetration om inte syrehalten begränsar detta.

Ehlers m fl (1983) fann att det tillväxtbegränsande värdet för penetrationsmotstånd var 3,6 MPa i bearbetad jord och 4,6-5,1 MPa i obearbetad alv. Detta beroende på att alven hade kontinuerliga porer gjorda av maskar och gamla rötter. Dessa porer hade inte störts av någon bearbetning.



Figur 2.3. Tidsåtgång för plantrötter (*Sorgum sudanese*, varietet *suchi-1*) att nå isotopmärkt fosfor vid olika kombinationer av packningsgrad och syrgashalt. (Ur Hopkins & Patrick, 1969)

2.2 Djupluckring

2.2.1 Mål

Djupluckring genomförs framförallt för att förbättra vatten- och luftushållningen i marken. Detta medför en ökad mängd växttillgängligt vatten, en förbättrad genomrotning och att jorden får en ökad bearbetbarhet. Bearbetningen måste vara så omfattande att den verkligen åtgärdar de faktorer som är skadliga för växterna (stående vatten, mekaniskt motstånd, syrebrist osv) och har en varaktighet så att de naturliga processerna i marken ånyo får verka som de skall. Målet med en djupluckring är bl a att öka andelen makroporer för att därigenom öka genomsläppligheten för luft och vatten.

2.2.2 Jordar i behov av luckring

En jord som har någon slags förtätad horisont behöver luckras. Det kan röra sig om en plogsula när man skall etablera växter på gammal jordbruksmark eller det kan vara en mer omfattande och djupgående skada som orsakats av trafik med tunga fordon på en byggarbetsplats. Packningsgraden är troligen högre i urbana jordar än i jordbruksmark.

Det behöver inte bara vara mekaniskt packade jordar som är i behov av djupluckring. Jordar med speciella geologiska bildningar kan också vara i behov av t ex en förbättrad genomsläpplighet. Det kan röra sig om profiler med lerlager över en genomsläpplig grund som en parabrunjord som karakteriseras av en leranrikning i A_3 -horisonten, se figur 2.4, med genomsläpplig jord i C-horisonten. Luckring kan även behövas på jordar där genomsläppligheten är god men där det mekaniska motståndet hindrar en djupare rotutveckling. Det kan röra sig om packade sandskikt eller jordar med ortstensförekomst.

Brunjord	Podsol	Sumpjord	
L (= A_{00})	L (= A_{00})	L (= A_{00})	L Förna (ingår i S-skiktet)
	F	F	A Urlakningshorisont
	A_0	A_0	A_0 Mår (indelas i F-skikt och H-skikt)
	H	H	
A	A_1	A_1	A_1 Humusblandad mineraljord
	A_2		A_2 Blekjord
	A_3		A_3 Övergångsskikt i huvudsak av blekjordskaraktär. Saknas ofta.
			A/B Övergångshorisont
A/B	B	B_1 G	B Anrikningshorisont
			B_1 Mörkbrunt, humusrikt skikt som återfinns i järnhumus- och humuspodsol.
B		B_2	B_2 Rostjord
			B_3 (B/C) Övergångsskikt
	B_3 etc		G Av grundvattnet påverkad horisont
C	C	C	C Av markprocesserna föga påverkad jordart
D	D	D	D Berggrunden

Figur 2.4. Jordmånshorisonter. (Ur Troedsson & Nykvist, 1973).

Utbytet av en djupluckring hänger mycket samman med jordarten. Leriga jordar bryts upp bättre p g a sin polyederstruktur än lättare, siltiga jordar. Även varaktigheten av luckringen är bättre hos en tyngre än hos en lättare jord. El-Araby m fl (1987) visar dock att typen av lermineral är viktig för resultatet. På styva till mycket styva lerjordar i Egypten, med en stor andel montmorillonitiskt mineral, har en djupluckring inte givit någon effekt alls. Dessa jordar har en naturligt mycket kraftig sprickbildning vid uttorkning och denna strukturanande process är tillräcklig för att förbättra dräneringsförhållandena och luftgenomsläppligheten.

De jordar som har de sämsta strukturbildande egenskaperna är finmo- och mjälajordar. Jordpartiklarna har en svag attraktion till varandra och stor rörlighet i vatten vilket ger tendens till igenslamning, flytning och vattenerosion. I dessa jordar blir en luckring föga framgångsrik, ibland t o m skadlig, eftersom bearbetningen kan förstöra de få naturliga porer och sprickor som finns. Den kapillära vattenstigningen är mycket effektiv vilket gör att jordarna har hög vattenhållande förmåga och detta tillsammans med tidigare nämnda egenskaper gör att en humusfattig mjälajord snabbt återtar sin massiva struktur efter en bearbetning.

Finmo- och mjälajordar är problemjordar och bör, om det är möjligt, inte användas i urbana sammanhang. En alvluckring är i och för sig välbehövlig men har endast en kortvarig verkan och är därmed inte ekonomiskt försvarbar.

2.2.3 Marktillståndet vid luckring

När det gäller all luckring måste man beakta följande faktorer:

- * vattenhalten i jorden vid bearbetningstillfället
- * det fackmässiga genomförandet
- * utrustningens ändamålsenlighet
- * kapaciteten på utrustningen
- * dränering, när grundvattenytan står för högt
- * vattenhalten i jorden vid efterföljande markarbeten (beakta risken för återpackning)
- * att ytan planteras eller besås snarast, så att växterna hjälper till med upptorkningsförloppet

En effektiv och intensiv uppluckring av marken kan bara fås när jorden är väl upptorkad. För att få en optimal luckring med mekanisk alvluckrare skall vattenhalten i marken skall ligga mellan utrullningsgränsen och vissningsgränsen (Müller, 1985) eftersom aggregaten bara har en tillräcklig stabilitet i relativt torrt tillstånd. En djupbearbetning med mekanisk alvluckrare kan endast ge positiv effekt om den utföres efter en längre torkperiod eftersom marken måste vara uttorkad ner till bearbetningsdjup. Extremt uttorkad mark är emellertid inte bra då dragkraftbehovet därigenom blir onödigt stort.

När en jord är bearbetbar på djupet är svårt att säga. Inom lantbruket finns möjligheten på hösten när växtligheten torkat ut marken. I urbana sammanhang ligger jorden obevuxen kanske i flera år, det dränerande spricksystemet är förstört och det är alltså endast genom avdunstning som marken avger sitt vatteninnehåll. Eftersom uttorkningen måste ske till det djup som skall bearbetas kan detta ta mycket lång tid. Om ytan är ogräsbevuxen har detta en viss uttorkande effekt, men bättre är att medvetet så in grödor med aggressiva djupgående rotsystem.

För att kunna planera en djupluckring menar Müller (1985) att följande frågor först måste besvaras:

1. Hur mycket vatten måste avdunsta från marken ner till bearbetningsdjup, för att jorden skall nå utrullningsgränsen?
2. Vilket klimatiska vattenbalansunderskott krävs det för att nå denna vattenavgång genom avdunstning?

Müller använder sig av följande beräkningsmodell:

$$V = (w_k - w_u) * z$$

där V = vattenmängden (mm) som måste avdunsta
 w_k = vattenhalten (vol-%) vid fältkapacitet
 w_u = vattenhalten (vol-%) vid utrullningsgränsen
 z = luckringsdjup (dm)

Det för lite långt att här gå in på Sveriges nederbörds- och humiditetsklimat för att ange på vilka jordar i vilka delar av landet som det är rimligt att få en uttorkning av jorden ner till utrullningsgränsen. Som exempel kan dock nämnas att formeln ovan ger oss vattenmängder som t ex 105 mm för en sandig lättlera och 170 mm för en mjällig styv lera. För en lerjord i nordvästra Tyskland dyker den här möjligheten statistiskt upp 5 ggr på 100 år (Müller, 1985).

I vårt klimat och speciellt i västra Sverige, tar det förmodligen väldigt lång tid att nå denna upptorkning bara genom avdunstning. En metod är att beså ytan med någon växtlighet med aggressivt rotsystem och som är effektiv att ta upp vatten genom ett utvecklat rotsystem.

Vid luckringen bryts den torra, packade marken upp och aggregaten förskjuts i förhållande till varandra och omlagras till viss del och det bildas oregelbundna sprickor och hålrum. Detta gör att marken inte återgår till ursprungstillståndet när luckringsredskapet passerat.

Om jorden är för torr, bryts den i stora klumpar i stället för små aggregat. Mellan dessa stora klumpar bildas oönskat stora hålrum vilket försämrar den vattenhållande kapaciteten. Risken för att jorden är för torr vid luckring är dock betydligt mindre än att den är för fuktig.

2.2.4 Luckringsmetoder

Genom en detaljstudie av markprofilen och dess fysikaliska och kemiska egenskaper, kan man fastställa om det finns horisonter som kan hämma växternas utveckling. Med dessa kunskaper som grund kan man sedan välja sättet för en djupbearbetning. Det är viktigt att luckringen utförs ned till en nivå under den packade horisonten.

Det finns olika begrepp för luckring/luftning:

Lyftning/vändning med hacka, spade, plog och grävsropa

Uppbrytning/lyftning med harv, alvluckrare och asfaltrivare

Luftning som stickluftning med grep, stickluftare, hålpiluftare eller som en explosion med tryckluft eller dynamit.

Lyftning/vändning är en traditionell metod med de förstnämnda redskapen, där hacka bearbetar ytligast och plog djupast. Grävskopan är här nyheten även om den har använts i detta syfte sedan en tid tillbaka. Den är också det redskap som har möjlighet att gå djupast.

Uppbrytning/lyftning används när man såbäddsbereder med en harv. Här finns också den metod som använts mest för djupbearbetning inom jordbruket, nämligen alvluckraren. Asfaltrivaren, bakmonterad på en banddriven schaktmaskin, används bl a för att luckra terrassen när man anlägger grönytor.

Luftningsprincipen används på ytor med etablerad vegetation. Luftning med olika typer av stickluftare används för luckring av framförallt sportgräsytor. Tryckluft injiceras explosionsartat i marken och har utvecklats för behandling av träd. Tryckluft och dynamit kan beroende på intensiteten också föras till begreppet uppbrytning/lyftning.

Håkansson (1976) summerar de svenska resultaten från djupbearbetningsförsök, som är resultat erhållna med mekanisk alvluckring med stela svärd (se Figur 2.7). De positiva utslagen överväger men han påpekar också att vissa försök lagts ut på platser där man av olika anledningar förväntat positiv effekt. Där framgång kan förväntas är där man genom bearbetningen kan bryta lager som förhindrar rötternas framträngning, såsom mjäla- och sandskikt, vissa pappersgyttjelager och ortsten. Beskrivningarna av försöksplatserna är i vissa fall mycket knapphändiga varför resultaten kan vara svåra att tolka.

Edling m fl (1969) rapporterar om alvluckringsförsök på skånsk moränlera. På dessa jordar fann man inga positiva effekter, ej heller några negativa. Skälen till att dessa liksom många tidigare försök, rapporterade av Nilsson och Henriksson (1968), genomsnittligt inte givit några positiva tendenser anses vara tre:

1. Försök har utförts på platser utan luckringsbehov.
2. Djupbearbetningen har inte medfört någon luckring.
3. Luckringen har inte varit stabil.

I flera tyska undersökningar har man visat positiva resultat med alvluckrare på jordbruksmark. Martinovic (1982) redovisar i en litteraturstudie resultat som visar på större porvolym, bättre vattenhållande egenskaper, ökad genomsläpplighet för vatten och bättre genomrotning. Skilda undersökningar har dock även fått negativa svar på alvluckrares djupluckrande effekt varför resultatet av en alvluckring måste antas hänga samman med marktillståndet och vilket redskap som används.

Vid djupplöjning (omblandning av material) av sandjordar på mobotten och vid inplöjning av organiskt material i sandjordar har ofta goda resultat erhållits. På styvare jordar är resultaten växlande. (Kofoed, 1960)

Varaktigheten av en alvluckring kan variera mycket kraftigt beroende på effekten vid bearbetningen, jordarten, lermineralens sammansättning, kalktillståndet, maskars och andra markorganismers påverkan samt jordens behandling efter alvluckringen. Ofta torde dock jorden relativt snabbt återgå till det skick den hade före luckringen p g a återpackning (Nilsson & Henriksson, 1968; Edling m fl, 1969).

För att få en varaktig luckring bör den, enligt Martinovic (1982), kombineras med t ex dränering, kalkning, djuprotande växter samt en skonsam efterbehandling.

För att utröna de mikrobiologiska effekterna av djupluckring studerade Franz (1976) tre olika djupbearbetningsförsök. Djupluckringen som skett med olika typer av alvluckrare 2,5, 11 och 13 år tidigare, studerades även med aspekten att utröna långtidseffekterna av luckringen. Jorden som luckrats 2,5 år före undersökningen visade en klart högre mikrobiologisk aktivitet i det luckrade ledet, speciellt på det djup där alvluckrarens skär gått fram. De ytor som luckrats tidigare hade tappat denna effekt och det hade alltså skett en återpackning.

Borchert & Graf (1981) redovisar resultaten från en långtidsundersökning av 28 djupluckringsförsök. Resultaten studerades utifrån förändringar i torra skrymdensiteten, porvolym och mängden luftfyllda porer. Från tredje året

efter luckring avtog effekterna av luckringen. Dålig varaktighet av luckringen kan korreleras med hög silthalt, låg lerhalt, ett lågt pH och avsaknad av dränering.

Meimberg (1967) konstaterar en större andel grövre porer 4 år efter luckringen. Han har emellertid också påvisat en försämrad struktur när luckringen utförts under ogynnsamma förhållanden.

Alla refererade försök är utförda på jordbruksmark där:

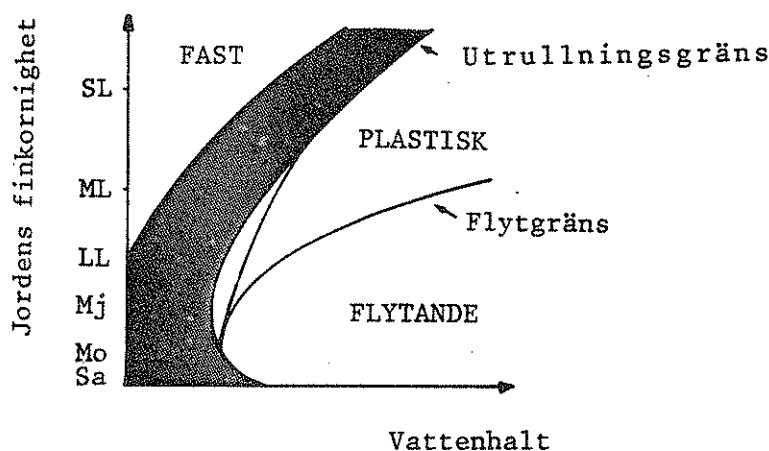
1. Återpackning sker genom att ytan åter trafikeras med samma fordon som orsakat den tidigare packningen.
2. Packningsskadan är mindre än vid normalt förekommande markbyggnad i stadsmiljön.
3. Endast mekanisk alvluckring har använts.

I det följande kommer tre olika djupbearbetningsmetoder att närmare beskrivas, mekanisk luckring med alvluckrare och med grävmaskin samt pneumatisk luckring med tryckluft.

2.2.4.1 Luckring med mekanisk alvluckrare

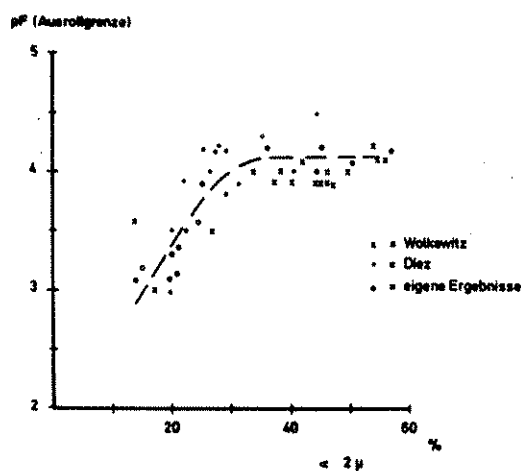
Oavsett vilket redskap som används, så måste alvluckringen ske då jorden är väl upptorkad till det djup, som skall bearbetas. Detta är en förutsättning för att man skall få en luckring och sönderdelning av det bearbetade skiktet. Det går inte att ange någon speciell vattenhalt som gränsvärde då detta varierar med jordart. Marken måste vara så uttorkad att jorden ger så stort motstånd mot skärtrycket att lyftkraften mot markytan förmår bryta upp marken. Den får inte ge efter, då förfelas hela luckringen och man får motsatt verkan. Under- och eventuellt överliggande lager trycks samman och det blir en igenmetning av det befintliga porsystemet.

Beroende på ler- och vattenhalt är jorden mer eller mindre plastisk. Hos plastiska jordar förekommer en plastisk konsistensform, som avgränsas genom en flytgräns och en utrullningsgräns (figur 2.5), mellan den fasta och flytande formen. En djupbearbetning i en plastisk jord som inte är tillräckligt upptorkad ger bara ett spår i marken som resultat och tillståndet har snarare försämrats än förbättrats.



Figur 2.5. Diagram visande jordens konsistensformer. Bearbetning skall ske inom det mörkfärgade området.

Figur 2.6 visar sambandet mellan lerhalt och pF -värdet vid utrullningsgränsen. Med ökande lerhalt kommer vattnet att bindas hårdare och vid lerhalter på 35-40 % närmar sig vattenhalten vid utrullningsgränsen den permanenta vissningsgränsen.



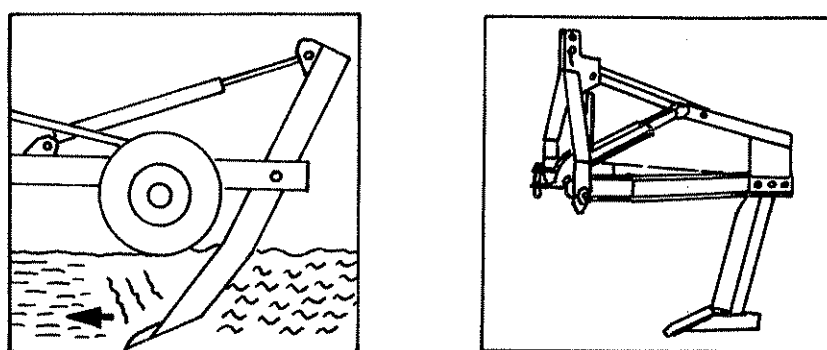
Figur 2.6. Sambandet mellan lerhalt och pF -värdet vid utrullgränsen. (Från Müller, 1985)

I tabell 2.3 visas en del markfysikaliska resultat av luckring med en mycket kraftig alvluckrare av typ 'stechhublockerer'. Bearbetningen gjordes när marken befann sig i rätt fuktighetstillstånd för optimal luckring.

Olika typer av alvluckrare.

Det finns två principiella arbetssätt för alvluckrare. Med stelt eller rörligt arbetsorgan.

När man använder ett stelt redskap så måste all effekt överföras till marken via traktorhjulen. För att få ett bättre kraftutbyte av traktorn som bär eller drar redskapet, utvecklades redskap där de arbetande delarna är rörliga via kraftöverföringsaxeln. Motorns effekt fördelas därmed mellan hjul och kraftuttag.



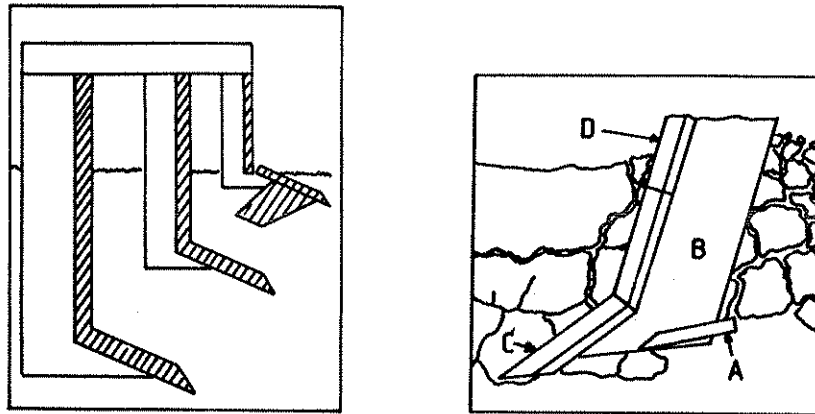
Figur 2.7. Alvluckrare med stelt svärd. Till vänster hjulburen och till höger traktorburen.

Tabell 2.3. Alvluckrings (stechhublockerer) inverkan på porvolym, andelen porer > 0,05 mm, torra skrymdensiteten, skjuvmotståndet mätt med vingborr och genomsläppligheten för vatten. Luckringen är utförd 1979 och värdena är medelvärden för 3 olika jordar undersökta 1980. (Efter Martinovic, 1982)

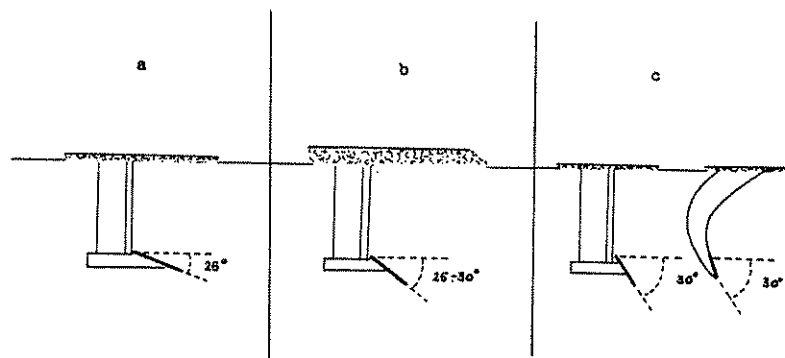
Parameter	Djup, m	Luckrat led	Obehandlat led
Porvolym (vol-%)	0 - 0,3	48,9	46,3
	0,3 - 0,5	49,4	42,1
	0,5 - 0,7	48,8	41,0
	0,7 - 1,0	43,3	39,6
Porer > 0,05 mm (vol-%)	0 - 0,3	13,5	10,5
	0,3 - 0,5	14,9	6,6
	0,5 - 0,7	11,8	5,6
	0,7 - 1,0	8,9	4,0
Torr skrymdensitet (Mg m ⁻³)	0 - 0,3	1,44	1,53
	0,3 - 0,5	1,47	1,64
	0,5 - 0,7	1,47	1,66
	0,7 - 1,0	1,69	1,69
Skjuvmotstånd (cm x kp)	0 - 0,3	320,0	310,0
	0,3 - 0,5	276,6	980,0
	0,5 - 0,7	153,3	1086,6
	0,7 - 1,0	1260,0	1296,6
Vattengenomsläppl. (kf cm/s x 10 ⁻⁴)	0 - 0,3	91,7	55,7
	0,3 - 0,5	93,5	10,2
	0,5 - 0,7	94,9	4,9
	0,7 - 1,0	4,9	0,7

Det stela redskapet är det ursprungliga och är antingen bogserat eller buret (Figur 2.7) av en hjul- eller banddriven traktor. Detta redskap består av ett svärd som längst ner har ett skär. Det är skäret som står för det egentliga arbetet i marken och har till uppgift att lyfta jorden framåt - uppåt. Skärets utformning har varierat från enkla plattjärnsliknande skär till mer gåsfotsliknande och även svärdet har försetts med flera skär eller "vingar" på sidorna enligt figur 2.8.

Skäret har bästa luckringseffekt när det ligger i 25-30 ° vinkel mot horisontalplanet (figur 2.9). Ett för flackt ställt skär bryter upp marken för dåligt och ett för tvärt ställt gör att dragkraftbehovet blir mycket stort (Schulte-Karring, 1985). Skärets förmåga att bryta jorden är också beroende av utformning och storlek. För små skär luckrar dåligt och medför en större risk för att det bara bildas ett "rör" i marken. Schulte-Karring (1985) menar att skäret bör vara 100x300 mm eller något större. En möjlighet att byta skär på svärdet är bra då utrustningen därmed kan anpassas efter skilda förhållanden.



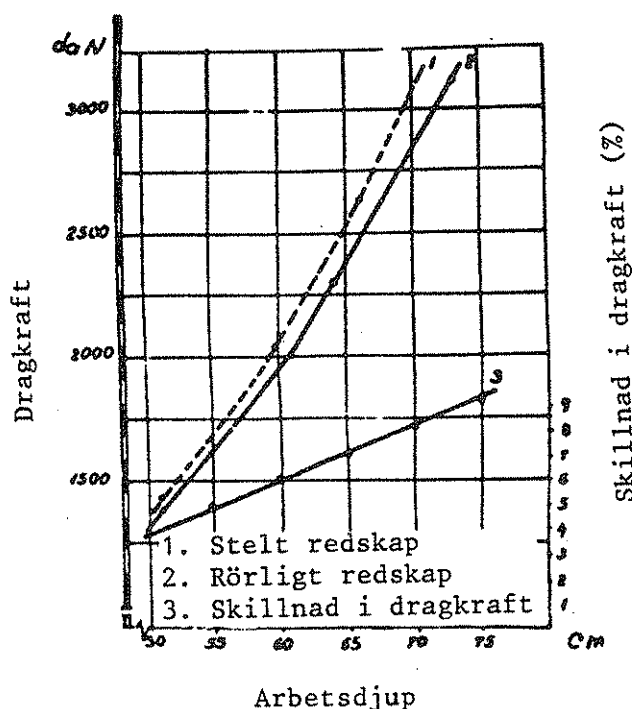
Figur 2.8. Exempel på arrangemang av svärd och vingar hos alvluckrare.



Figur 2.9. Vinkeln på skäret har stor betydelse för intensiteten på luckringen. Bäst effekt får man när vinkeln är 25 - 28°. (ur Schulte-Karring, 1985)

Stela luckringsredskap har i jämförelse med de rörliga ett mycket större dragkraftbehov (figur 2.10). Dessutom åstadkommer ett stelt redskap en mindre omlagring av aggregaten vilket är en nackdel för luckringens varaktighet. Fördelen med de stela redskapen är bl a lägre anskaffningskostnader.

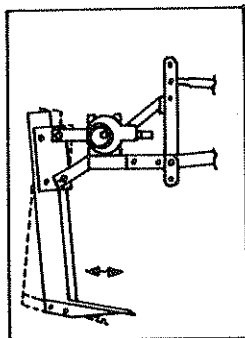
Under 1960-talet utvecklades i USA en utrustning med flera svärd som var rörliga i sidled och erhöll därmed en avsevärd minskning i dragkraftbehov. Luckringseffekten var emellertid inte tillfredsställande och det visade sig att på fuktiga finjordsrika marker kunde utrustningen t o m åstadkomma en ökad packning. Idén om rörliga delar för att minska dragkraftbehovet och öka effekten av luckringen var emellertid väckt och kom att utvecklas senare.



Figur 2.10. Diagram som visar skillnaden i dragkraftsbehov mellan ett stelt och ett rörligt redskap. (Ur Toma, 1982)

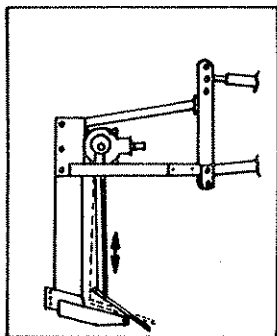
En beskrivning av några redskap i praktiskt bruk.

"Hubschwenklockerer"



Den i Tyskland först utvecklade utrustningen var en 2-armars "hubschwenklockerer", figur till vänster, där svärden satt med samma avstånd som spårvidden på traktorn. Hela svärdet med skär har en fram- och tillbaka-gående rörelse där ett skär går framåt när det andra går bakåt. Till skillnad från utrustning med andra rörelsemönster är denna utrustning känslig för större stenar och starkt uttorkad mark. 80 % av effekten ligger på kraftöverföringen och det enda överbelastnings-skyddet som finns är en vanlig smatterkoppling. Ett annat problem, som för övrigt gäller de flesta alvluckrare är att bibehålla arbetsdjupet. Som regel saknas tryckhydraulik på traktorn som behövs för att hålla nere redskapet. Denna typ av alvluckrare har ett arbetsdjup på maximalt 55 cm och med ett skär på 400x80 mm behövs en effekt på ca 37 kW. För en 4-armars luckrare är effektbehovet 50-80 kW.

"Wippscharlockerer"

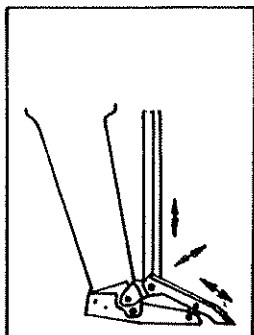


Till skillnad från tidigare nämnda utrustning är arbetet med "wippscharlockerer", figur till vänster, mindre problematiskt. Med sitt stela svärd används bara 30 % av förbrukad effekt via kraftuttaget, så att 70 % av den erforderliga effekten ligger på hjulen i form av dragkraft. Luckringsarbetet är tack vare det större skäret bättre och det är mindre svårt att hålla arbetsdjupet. Tack vare att en mindre kraftinsats behövs för rörelsen är det lättare att övervinna större motstånd.

Denna typ av alvluckrare finns som en- och två-armars. En luckrare med bara ett skär har den nackdelen att man är tvungen att köra på redan luckrad mark, eftersom endast halva spårvidden luckras.

Med ett relativt stort skär på 500x150 mm och med ett arbetsdjup på 80 cm behövs en tillgänglig effekt på 60 till 80 kW. Med två skär med 170 cm avstånd är behovet 95 till 110 kW.

"Stechhublockerer"



Denna typ av luckrare, figur till vänster, som är en vidareutveckling av den förra är mycket kraftig. Den har ett 550x200 mm stort skär som går i en rörelse framåt och sedan uppåt. Utrustningen finns med upp till 3 skär och lämpar sig bäst för stora, kraftigt packade ytor.

Effektbehovet för arbete på 90 cm djup är minst 100 kW och utrustningen skall användas på banddrivna redskapsbärare.

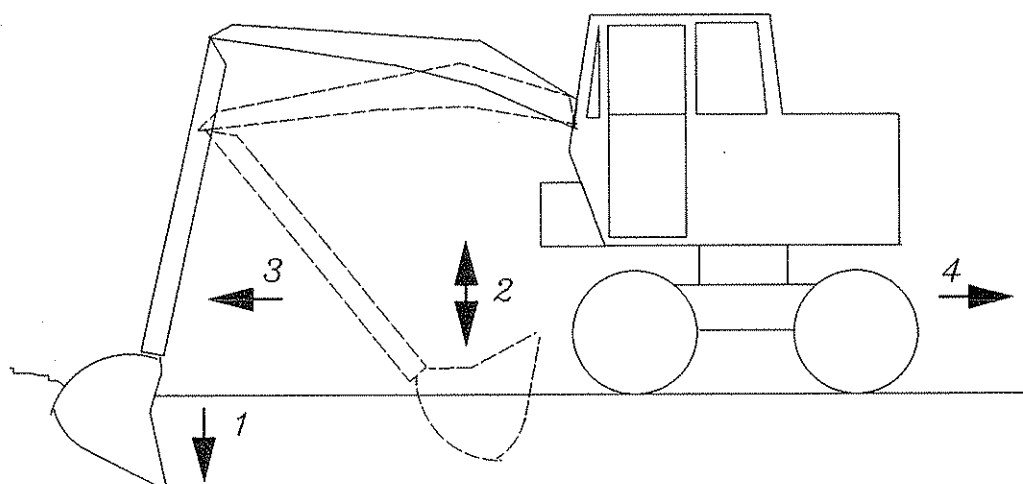
Fördelarna med denna maskin är en bättre luckringseffekt genom stora skär och att arbetsdjupet kan regleras med redskapsbärarens hydraulik.

Utrustningen är dyr och lämpar sig endast till stora rekultiveringsobjekt. Skall endast en plogsula brytas upp finns andra mer ekonomiskt försvarbara utrustningar.

2.2.4.2 Luckring med grävmaskin

Denna metod går ut på att med en grävmaskin eller traktorgrävare, som står på den packade marken och arbetar sig bakåt, lyfta upp en jordvolym som skakas lätt, och sedan släpps ner i hålet igen (figur 2.11). Jorden vänds inte utan faller i stort sett tillbaka som den låg, men packade skikt har brutits upp och sprickor har bildats.

Inom byggindustrin, där man arbetar med flyttning av jordmassor, har förändringarna i jordvolym och täthet efter att massorna grävts upp med grävmaskin varit kända länge. När ett granulärt material flyttas av en grävska ökar det nästan alltid i volym med en faktor som kallas "svällning". Svällningsfaktorn, (SF), är den procentuella ökningen i jordvolym över det ursprungliga värdet enligt nedanstående ekvation:



Figur 2.11. Maskinens principiella arbetssätt vid luckringen.

1. Skopan körs ner till tänkt luckringsdjup
2. Skopan lyfts och skakas
3. Jorden släpps tillbaka i hålet
4. Maskinen backar

$$SF = \left(\frac{V_f}{V_o} - 1 \right) \times 100 \% = \left(\frac{\gamma_o - \gamma_f}{\gamma_f} \right) \times 100 \%$$

där V_f = jordvolymen efter grävning

V_o = den ursprungliga jordvolymen

γ_f = den torra skrymdensiteten efter grävning

γ_o = den ursprungliga torra skrymdensiteten

Tabell 2.4 visar några typiska värden på svällfaktorn för några jordmaterial. Värdena är hämtade från försök på byggplatser.

Tabell 2.4. Värden på skrymdensitet och svällningsfaktor för några typiska jordmaterial. (Caterpillar, 1981)

Material	In situ densitet, Mg m ⁻³	'Grävd' densitet Mg m ⁻³	SF, %
Torr lera	1,84	1,48	24
Våt lera	2,08	1,66	25
Våt 'jord'	2,02	1,60	26
Torr lös sand	1,60	1,42	13
Våt sand	2,08	1,84	13
Matjord	1,37	0,95	44

Värdena i tabell 2.4 ger en indikation på hur stor luckring man kan förvänta sig när man helt lyfter bort jorden. När man inte helt tar bort jorden utan endast lyfter upp den kommer förmodligen luckringseffekten att vara mindre. Förändringen i skrymdensitet är beroende av den ursprungliga skrymdensiteten, jordens vattenhalt och verktygets (skopans) geometri (McKyes, 1985).

Luckring med grävmaskin har framgångsrikt utförts i fruktodlingar i USA (Harris, 1983) och försök har även gjorts på jordbruksmark i Sverige. Håkansson (1976) rapporterar om betydelsefulla effekter på vattenhushållningen, även om detta är en mycket komplex fråga som är beroende av hur genomgripande luckringen är, av nederbörds-, avdunstnings- och dräneringsförhållanden mm. I svårgenomsläppliga jordar kan man förvänta sig positiva effekter.

Rolf (1986) studerade en planteringsyta som behandlats med grävmaskin. Resultaten visar på att luckringen har haft flera positiva effekter som större porvolym och att makroporerna utgör en större andel av porsystemet. Dessa markfysikaliska förändringar har också kommit till uttryck i en bättre tillväxt hos det planterade växtmaterialet som utgörs av i Sverige vanliga busk- och trädarter.

Kostnaden för behandlingen av den av Rolf (1986) beskrivna planteringsytan var 1984 ca 1.25 kr/m² då arbetet utfördes på ett ca 10000 m² stort område. På en mindre och mer svårarbetad yta i Göteborg beräknades kostnaden till 25 kr/m² (Rolf & Moback, 1991). Exempelen visar priser från olika år, men sanningen om kostnaden varierar beroende på förutsättningar som t ex ytans storlek och den hänsyn som måste tas till installationer i marken.

De av Håkansson (1976) beskrivna luckringarna har utförts med matjorden avtagen medan luckringen beskriven av Rolf (1986) utfördes efter det att matjorden var påförd. Vilket tillvägagångssätt som än används så kommer en viss mängd matjord att fylla upp de sprickor som bildas under luckringen. Dessa utgör därmed utmärkta rotvägar eftersom jorden är lucker och kan genom det organiska inslaget hålla ett gott näringstillstånd.

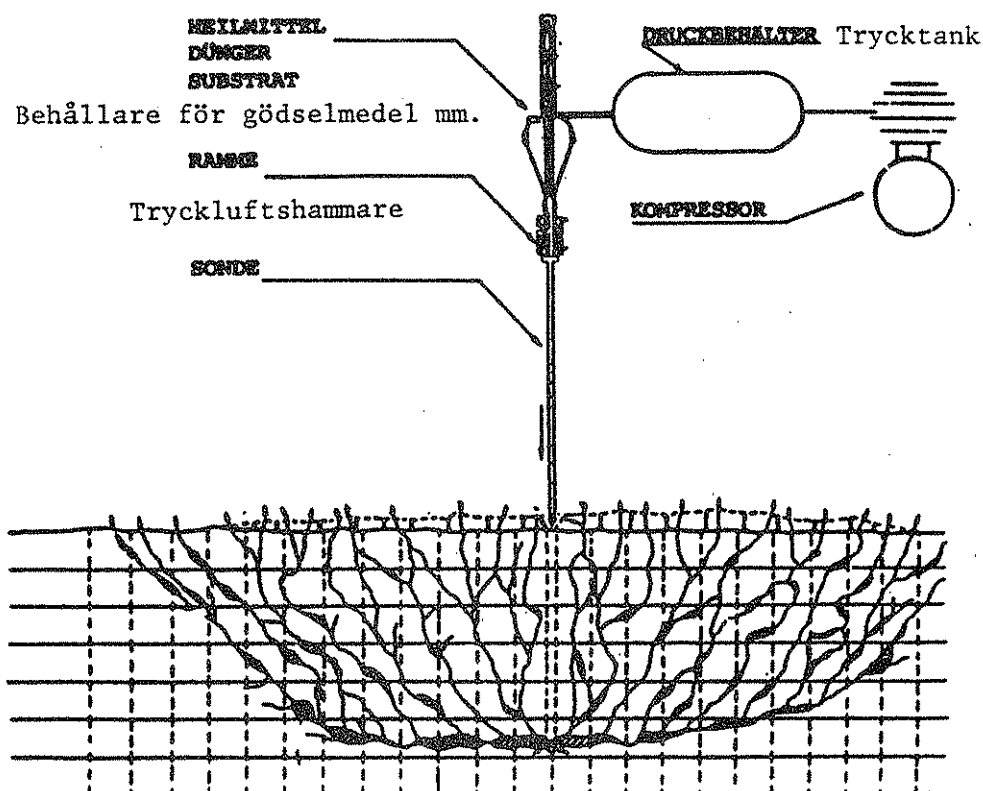
Det har inte framkommit att några studier har gjorts på effekten av olika typer av skopor. En mindre skopa luckrar förmodligen mer intensivt men å andra sidan stiger också kostnaden per kvadratmeter.

2.2.4.3 Luckring med tryckluft

Luft i marken, och då menas luft med tillräckligt syrgasinnehåll är lika nödvändigt för växten som vatten. Tanken att använda mediet luft som vertyg för att bearbeta marken är intressant. I motsats till vatten är luft komprimerbart. Tack vare denna egenskap kan luft användas som en tämligen obegränsad energipotential. I luft är markpartiklarna inte rörliga d v s de bildar inte med luft någon suspension och förmår följaktligen inte förstöra aggregatstrukturen. Vatten är sämre ägnat åt detta då vatten löser upp markpartiklarna och bildar en suspension som kan sätta igen porer.

Sedan ett par år tillbaka finns utrustning tillgänglig för pneumatisk behandling av mark. Utrustningen, med produktnamnet 'Terralift', består av en marksond, en tryckluftshammare och en kompressor, se figur 2.12. Sonden slås med hjälp av tryckluftshammaren ner i marken, trycket byggs upp i en tryckluftstank och släpps sedan explosionsartat ut genom öppningar längst ner i sonden.

Verkan av denna tryckluftssprängning breder ut sig halvsfäriskt kring sonden med en diameter av ca 1,2 m. Vid en luckring till 90 cm djup måste två bearbetningar göras, först en på ungefär 50 cm djup och därefter en med sonden på maximalt djup. 'Terralift' frigör 500-1000 liter luft, med ett relativt högt tryck på 16-20 bar, på bråkdelen av en sekund.



Figur 2.12. Schematisk bild av tryckluftsbehandling. (Efter Nitschke m fl, 1986)

Via en behållare kan "jordförbättringsmedel" tillföras marken samtidigt med luftstöten. Detta kan vara kalk eller 'styroperl', små plastkolor, för att stabilisera det nya spricksystemet eller gödselmedel till träd eller buskar.

Om sprickor och porer i marken finns i tillräcklig mängd så kommer luft som tillsätts vid ett visst tryck att försvinna ut i atmosfären utan att påverka markstrukturen. Gasmolekylerna går enligt minsta motståndets väg till markytan och atmosfären. Här gäller dock att trycket måste vara så lågt att luftvägarna hinner dränera bort luften. Om man däremot injicerar luft med ett tillräckligt högt tryck så kommer luften att utvidga de porer som finns för att utjämna trycket.

De krafter i marken som verkar mot tryckluften bestäms framförallt av jordart, struktur och markens aktuella fuktighetstillstånd.

Nitschke m fl (1986) har via tidsstudier försökt att få en bild av tidsåtgång och kostnader för djupbehandling med 'Terralift'. Kostnaderna är avhängiga hur starkt packad marken är eftersom det tar längre tid att slå ner sonden i en mer packad mark. Vid t ex förflyttning av utrustningen påverkas tidsåtgången i stor utsträckning av den som utför jobbet.

Med en viss variation, beroende på vem som utför jobbet, fås tidsåtgången enligt tabell 2.5. Siffrorna baseras på behandling av stora träd, där det görs 64 stick på en yta av 10 x 10 meter, runt varje träd. I en normalt packad mark tar det 1,54 minuter för varje stick om den tid ingår, som går åt för att fylla på jordförbättringsmedel.

Tabell 2.5. Arbetskraftstimmar / 500 träd för arbete med 'Terralift' vid skilda markförhållanden (ur Nitschke m fl, 1986)

	Akh / 500 träd
Normalpackat	944
Mycket packat	1410
Sprängning på 2 nivåer	1454

För att beräkna kostnaderna räknar man med en årlig användning på 800 timmar och en avskrivningstid på 8 år. I siffrorna som presenteras i tabell 2.6 ingår driftskostnader och en lönekostnad på 37:- DM/timme, som är ungefär 140,00 SEK (1 DM = 3,80 SEK).

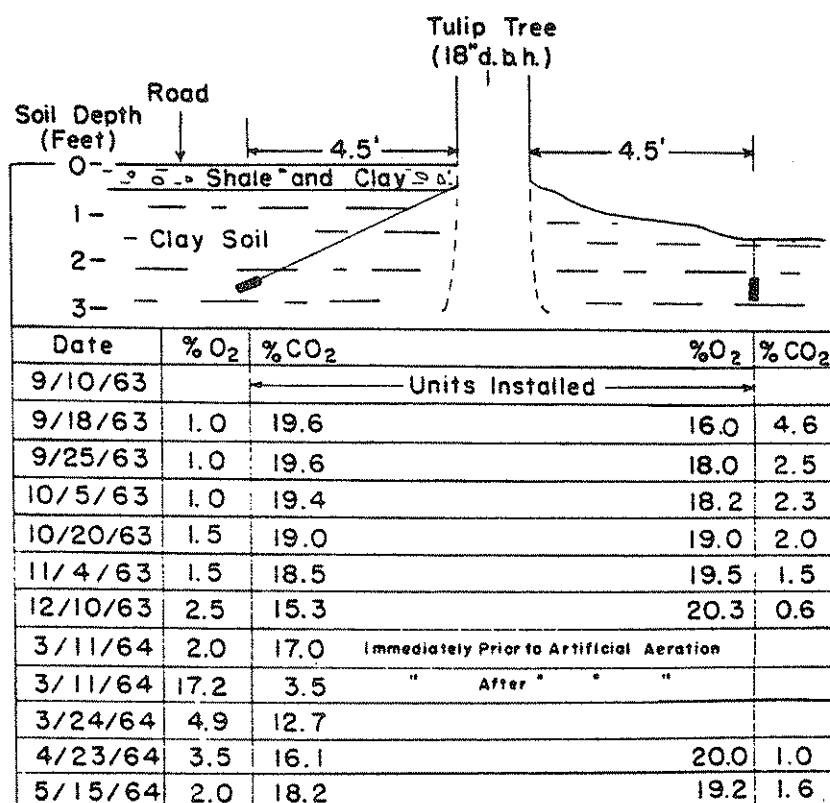
När marken är vattenmättad har det visat sig svårt att injicera styroperl. Achilles (1980) menar att ett så lätt material inte kan transporteras genom ett uppslammat medium. Å andra sidan är också anledningen till att behandla en vattenmättad jord tveksam, eftersom jorden då är mycket plastisk eller t o m flytande och det går knappast att förvänta sig någon luckringseffekt.

Tabell 2.6. Kostnad / träd för behandling med 'Terralift' (ur Nitschke m fl, 1986)

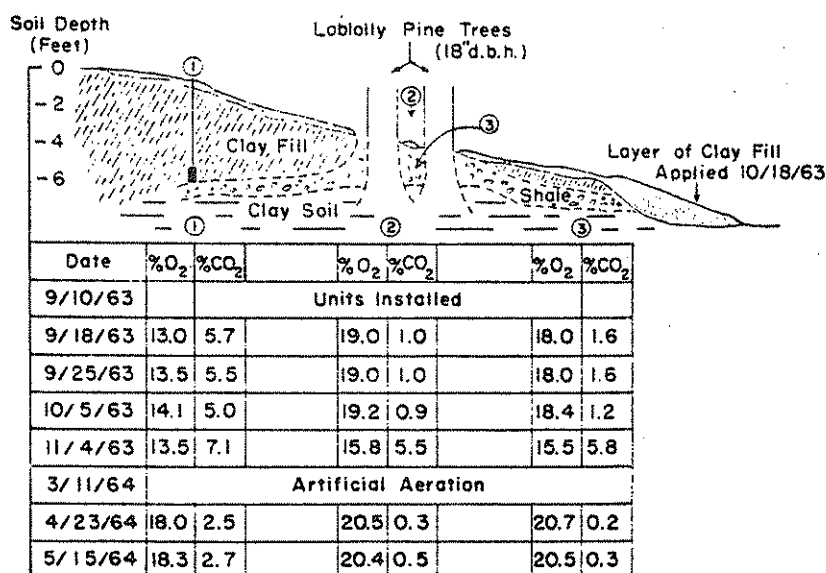
Normalpackat	94,50 DM	359:- SEK
Mycket packat	139,54 DM	530:- SEK
Sprängning på 2 nivåer	143,86 DM	547:- SEK

Yelenoski (1964) rapporterar om experiment gjorda i början på 60-talet med tryckluftsbehandling av träd. Man borrade 60-90 cm djupa hål, 5 cm i diameter, i vilka luft under högt tryck injicerades. Figur 2.13 visar att effekten under en nybyggd väg var mycket kortvarig, mestadels på grund av att marken snabbt återpackades genom trafiken på vägen. Det nya grova porsystemet var inte stabilt nog. Större framgång hade man i ett annat försök som framgår av figur 2.14 där ingen trafik återpackade marken genom vibrationer. Resultaten visar att positiva effekter av tryckluftsbehandling kan fås på ytor som inte, efter behandling, upprepat utsätts för svår packning.

Martinovic (1982) menar i sin jämförande studie av pneumatisk och mekanisk luckring att pneumatisk luckring kommer, när utrustningen är väl utprovad, att utgöra ett värdefullt redskap för ytor som är små eller svåråtkomliga för annan teknik. Tabell 2.7 visar resultat från hennes undersökning som gjordes på en prototyp till 'Terralift' och luckringen utfördes när markförhållandena inte var de bästa.



Figur 2.13. Syrgas- och koldioxidkoncentrationer under en nybyggd väg som går strax intill ett tulpanträd och över en stor del av dess rötter. (Ur Yelenosky, 1964)



Figur 2.14. Syrgas- och koldioxidkoncentration i jord vars yta blev täckt med krossmaterial innan lera fylldes på runt trädstammarna. (Ur Yelenosky, 1964)

Tabell 2.7. En tryckluftsbehandlings inverkan på porvolym, andelen porer > 0,05 mm, torra skrymdensiteten, skjuvmotståndet mätt med vingborr och genomsläppligheten för vatten. Luckringen är utförd 1979 och värdena är medelvärden för 3 olika jordar undersökta 1980 (efter Martinovic, 1982)

Parameter	Djup, m	Luckrat led	Obehandlat led
Porvolym (vol-%)	0 - 0,3	48,7	46,3
	0,3 - 0,5	46,1	42,1
	0,5 - 0,7	44,1	41,0
	0,7 - 1,0	43,5	39,6
Porer > 0,05 mm (vol-%)	0 - 0,3	12,5	10,5
	0,3 - 0,5	11,9	6,6
	0,5 - 0,7	7,2	5,6
	0,7 - 1,0	7,7	4,0
Torr skrymdensitet (Mg m ⁻³)	0 - 0,3	1,45	1,53
	0,3 - 0,5	1,53	1,64
	0,5 - 0,7	1,55	1,66
	0,7 - 1,0	1,60	1,69
Skjuvmotstånd (cm x kp)	0 - 0,3	306,6	310,0
	0,3 - 0,5	740,0	980,0
	0,5 - 0,7	773,3	1086,6
	0,7 - 1,0	993,3	1296,6
Vattengenomsläppl. (kf cm/s x 10 ⁻⁴)	0 - 0,3	108,0	55,7
	0,3 - 0,5	25,7	10,2
	0,5 - 0,7	9,2	4,9
	0,7 - 1,0	4,9	0,7

I Tyskland har de senaste 10 åren presenterats en hel del utrustning för luftning och gödsling av marken vid träd i gatu- och parkmiljö. Flera av dessa rena luftningsutrustningar angriper inte orsakerna till trädens dåliga kondition utan endast symptomen och är endast en tillfällig medicin för träden.

2.2.4.4 Luckring med sprängämnen.

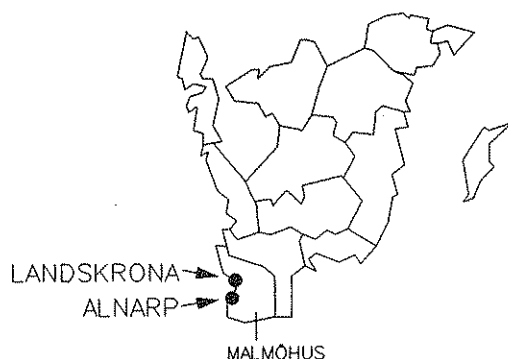
Djupluckring med sprängämnen har som metod funnits länge. På 60-talet gjordes experiment i Sverige men någon större utbredning har metoden aldrig fått. Vetenskapligt gjordes aldrig någon riktig dokumentation. I Tyskland finns det idag åtminstone en firma (F:a Kertzel i Grünstadt) som försöker sig på att vidareutveckla metoden genom att samla in de praktiska erfarenheter som finns och använda sig av traktormonterad appliceringsteknik (Schulte-Karring, 1988).

I Japan har man (Araya m fl, 1989) nyligen studerat effekten av att använda sprängämnen för att luckra tunga lerjordar. Resultaten visar att här, som vid all luckring, har vattenhalten i jorden vid utförandet stor betydelse för effekten. Hög vattenhalt ger en stor hållighet i marken som gör att marken måste bearbetas innan den kan besås, medan en låg vattenhalt ger en mindre hållighet och en finare ytstruktur.

3 FÖRSÖKSPLATSER OCH METODER

3.1 Försöksplatsernas läge

Varje försöksplats läge ges med koordinaterna på ekonomiska kartan för området. Figur 3.1 visar en översikt på det geografiska läget.



Figur 3.1. Karta över provplatsernas geografiska läge.

Provplatserna är:

Alnarp	Alnarps egendom. $55^{\circ}39'N$, $13^{\circ}5'E$
Landskrona	Smörhålan, Landskrona. $55^{\circ}55'N$, $12^{\circ}50'E$

3.2 Bakgrundsinformation

3.2.1 Alnarp

Provplatsen ligger i ett område med morän med svallat ytskikt upp till 5 - 10 m ö h. Oftast består ytskiktet av ett tunt lager (0,5 m) lerig eller lerfri sand eller mo på moränen. Detta lager utgörs ibland helt eller delvis av matjord. I vissa fall har svallningen enbart medfört en ökad stenhalt i markytan.

Moränytorna är blockfattiga och vanligen saknas block helt. Moränytorna är oftast även stenfattiga med lokalt stenigare ytor. Där moränfinleran dominerar är markytan extremt stenfattig.

Moränens färg är oftast brun till brungul eller gråbrun ned till 3 - 5 m djup. Den är därunder grå till gråblå. Det djup, till vilken den brunaktiga färgen når, varierar med moränens och eventuellt överliggande jordarters kornstorleksfördelning samt med grundvattenytans läge. Det är främst luftens oxiderande verkan, som har givit moränen dess brunaktiga färg.

Den övre s k lågbaltiska moränen är en bottenmorän där kalkhalten i allmänhet varierar mellan 20 och 30 %. Det höga värdet beror på innehållet av danien- och kritkalksten samt paleozoiska kalkstenar. Närmast markytan har moränen lägre kalkhalt på grund av urlakning, som når 0,5 - 1,5 m djupt. Djupet varierar med moränens kornstorlekssammansättning.

Provplatsen ligger på kanten till den s k Alnarpssänkan, som är en förkastning. Den övre delen av berggrunden utgörs av den s k danienkalkstenen, som bildades för 62 -65 miljoner år sedan, i en marin miljö. Den övre delen av denna formation är utbildad som gråvit, hård grovkornig kalksten, kalkarenit, som ofta är förkissad och rik på flintlager.

Den jordartsgeologiska kartan visar att provplatsen ligger på ett område med morängrovlara och sand. Vid provplatsen är berggrunden cirka 20 meter under markytan, som ligger cirka 10 m ö h (SGU, 1980). Marken har tidigare använts för jordbruksändamål.

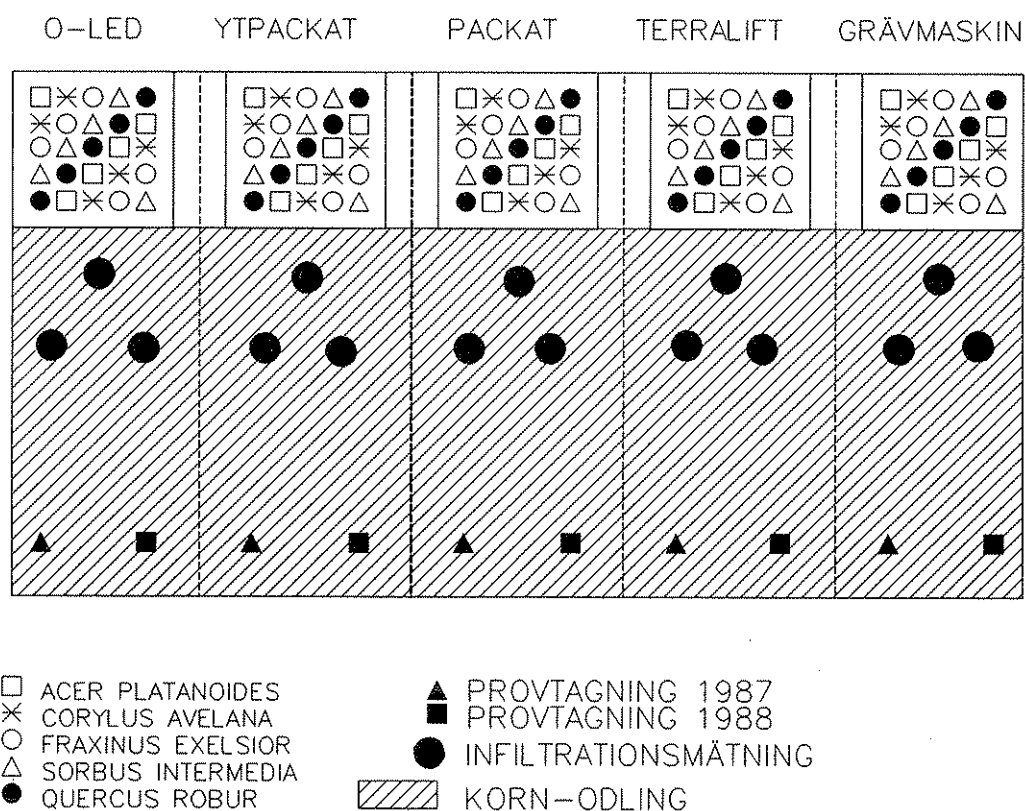
3.2.2 Landskrona

Provplatsen ligger cirka 32 m ö h på ett område med moränmellanlera och moränlera. Jorddjupet är i området mellan 45 och 60 m enligt den jordartsgeologiska kartan (SGU, 1981). Marken brukas normalt som jordbruksmark.

Provplatsen ligger söder om Glumslövs backar som är ett drumlin-område bestående av baltisk sydvästmorän av samma typ som Alnarp.

3.3 Försökens uppläggning

Försöken anlades i april - maj 1987. Fältplanen (figur 3.2) visar de olika behandlingarna som betecknas A - J enligt tabell 3.1. Varje parcell var 5 x 18 m med en skyddszon på 3 m mellan parcellerna. Den del av parcellen som inte upptogs av trädplantering såddes med annuella grödor.



Figur 3.2. Fältplan för Alnarp och Landskrona.

Vid anläggningen (maj, 1987) togs matjorden i parcellerna A, B, C, F, G och H av till ett djup av 30-40 cm. På denna terrassbotten packades marken med hjälp av en hjulburen grävmaskin enligt tabell 3.2 som kördes fram och tillbaka 10 gånger spår vid spår. Därefter lades matjorden tillbaka och luckringen utfördes med grävmaskin i parcell A och F och med Terralift i parcell B och G. Vattenhalten i jorden vid luckring var i Alnarp 10-14 % och i Landskrona 18-21 %, dvs ungefär mittemellan vissningsgränsen och den vattenhalt jordarna hade vid ett vattenavförande tryck på 6,0 meter.

Tabell 3.1. Parcellbeteckningar för de olika behandlingarna på respektive provplats

Parcell	Provplats	Behandling
A	Alnarp	Grävmaskins-luckring
B	Alnarp	Terralift
C	Alnarp	Packad kontroll
D	Alnarp	Ytpackad
E	Alnarp	Obehandlad
F	Landskrona	Grävmaskins-luckring
G	Landskrona	Terralift
H	Landskrona	Packad kontroll
I	Landskrona	Ytpackad
J	Landskrona	Obehandlad

Tabell 3.2. Maskiner som användes vid packningen

Plats	Typ	Axeltryck	Däckstryck
Alnarp	Åkerman H7M	8 ton	500 kPa
Landskrona	Atila	6,5 ton	500 kPa

Grävmaskinsluckringen utfördes, med i Tabell 3.2 beskrivna maskiner, till ett djup av 70-80 cm. Den pneumatiska luckringen med Terralift utfördes i 2 etapper, på 40 och 75 cm djup med ett tryck av 20 bar och med ett c/c-avstånd på 1 m.

Parcell C och H är obehandlade efter packningen och utgör kontroll för jämförelse med de luckrade parcellerna.

Parcellerna D och I är packade i ytan med samma belastning som de parceller som packats på djupet. Parcellerna E och J är helt obehandlade och har kvar de egenskaper marken hade innan försöket lades ut.

I varje försöksparcell planterades 5 stycken exemplar av i tabell 3.3 redovisade arter med ett plant- och radavstånd på en meter.

Tabell 3.3. De i försöket ingående arterna och ålder vid planteringstillfället

Svenskt namn	Vetenskapligt namn	Kvalitet
Skogslönn	Acer Platanoides	1/0 30-50
Hassel	Corylus Avellana	1/1 50-80
Ask	Fraxinus exelsior	1/2 30-50
Oxel	Sorbus intermedia	1/2 40-65
Ek	Quercus Robur	2/0 50-80

Den del av parcellerna som inte planterades med träd besåddes 1987 med en annuell blomsterfröblandning som plöjdes ned på hösten. 1988 såddes delar av ytan med korn och delar med blomsterfrö. Tanken var att kornodlingen skulle skördebestämmas men ytan var så liten att vilttrycket blev för stort för att en rimlig utvärdering skulle kunna göras. Under odlingssäsongen 1989 har korn (Formula) odlats på den del av parcellerna som inte planterats med träd och på omgivande mark.

3.4 Provtagning

På varje 10-centimetersnivå togs 1987 ut prover för bestämning av kornstorleksfördelning. 1987 togs cylinderprover för markfysikalisk analys ut enligt tabell 3.4 och 1988 enligt tabell 3.5. För nivåerna 0,2 - 0,7 m togs 1987 ut 6 cylindrar på varje nivå och för D, E, I och J även de översta nivåerna. Där antalet uttagna cylindrar enligt ovan inte stämmer med tabell 3.4 beror detta på att cylindrar har strukits pga att håligheter har uppstått i provproppen under provtagning. Detta upptäcks först efter att laboratorieanalyserna är klara och mätvärdena stryks då.

1988 togs ej några cylindrar för den översta nivån pga att bearbetning av markytan skett i samband med bl a ogräsbekämpning. Den nedersta nivån ströks också för att göra det möjligt att ta ut fler prover på andra nivåer. Av 1988 års mätresultat ströks cylindrar på nivåerna I 0,5 - 0,6, J 0,3 - 0,6 pga håligheter. (I övrigt stämmer tabell 3.5 med uttagna antal prover)

Tabell 3.4. Antalet provcylindrar, som resultaten grundar sig på för varje 10-centimetersnivå, 1987, i de olika parcellerna

1987	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0-0,1 m	-	-	-	6	5	-	-	-	3	3
0,1-0,2 m	-	-	-	6	4	-	-	-	3	4
0,2-0,3 m	5	5	5	4	6	6	4	5	5	6
0,3-0,4 m	6	5	5	5	6	6	5	3	6	5
0,4-0,5 m	4	3	6	6	6	3	5	5	3	4
0,5-0,6 m	6	-	5	6	5	5	6	5	5	6
0,6-0,7 m	6	-	6	6	6	6	6	5	3	5

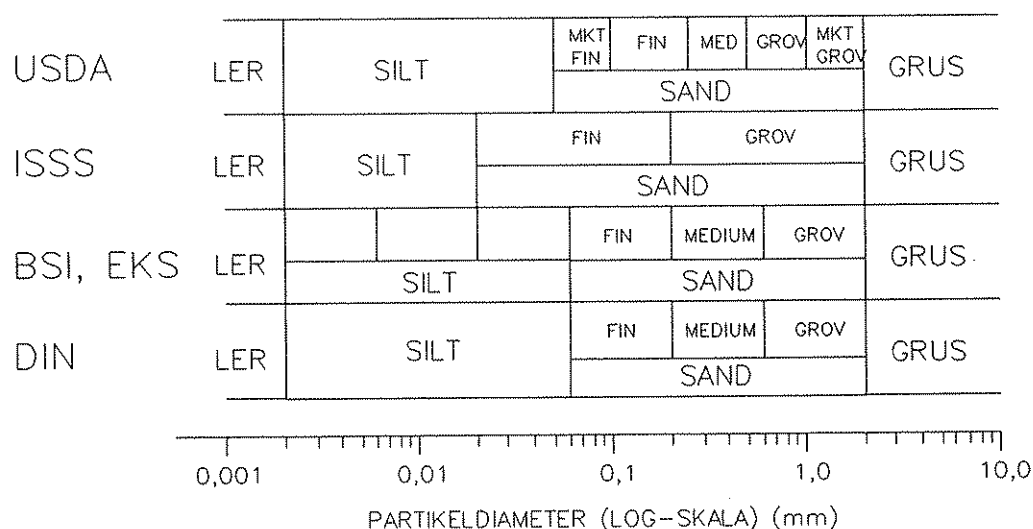
Tabell 3.5. Antalet provcylindrar, som resultaten grundar sig på för varje 10-centimetersnivå, 1988, i de olika parcellerna

1988	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0-0,1 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,1-0,2 m	-	-	-	6	6	-	-	-	6	6
0,2-0,3 m	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0,3-0,4 m	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7
0,4-0,5 m	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4
0,5-0,6 m	6	6	-	6	6	6	6	6	4	-
0,6-0,7 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.5 Markfysikaliska analyser

3.5.1 Laboratorieanalyser

Analys av de olika provytornas textur har gjorts med en kombinerad pipett- (Robinson, 1922; Jennings m fl, 1922) och våtsållningsmetod. Det exakta tillvägagångssättet finns beskrivet av Ljung (1987). Jordarnas texturella indelning baseras på en indelning gjord av Ekström (1927) enligt figur 3.3.



Figur 3.3. Några allmänt erkända klassificeringssystem baserade på partikeldiameter: U S Department of Agriculture (USDA), International Soil Science Society (ISSS), British Standard Institute (BSI), Ekström (EKS) och Deutsche Industri Normen (DIN).

Mättad hydraulisk konduktivitet mättes efter att provcylindrarna vattenmätats och ett konstant vattentryck hade applicerats. Metoden finns beskriven av Andersson (1953).

Vattnets bindningskaraktistika har bestämts med standardmetod (Richards, 1948) som satts i stånd av Andersson & Wiklert (1972). Provcylindrarna vattenmätas och utsätts sedan för successivt lägre vattenavförande tryck. När jämvikt råder mellan vattnet i provcylindern och tensionen, vägs vattenvolymen som har avgått.

Mängden växttillgängligt vatten är beräknat som skillnaden i vattenhalt vid tensionen -10 kPa och vattenhalten vid den permanenta vissningsgränsen (-1,5 MPa).

Luftgenomsläppligheten bestämdes enligt rutinmetod vid avd för hydroteknik, beskriven av Andersson (1969). Bestämningen gjordes sedan provcylindrarna dränerats till 1,0 m vp.

Torra skrymdensiteten beräknades efter torkning av proverna i 105 °C.

3.5.2 Fältmätningar

Data för penetrationsmotstånd har samlats in med en av Hans Jørgen Olsen (1987) konstruerad elektronisk penetrometer. Inställningar av mätområden mm enligt tabell 3.6.

Tabell 3.6. Mätområden mm vid datainsamling med penetrometer

Konstorlek:	stor (12.8 mm)
Antal stick/parcell:	30
Mätområde:	0 - 1000 N
Maximalt mätdjup:	0,7 m
Maximal kraft:	1500 N
Penetrationshastighet:	20 mm/s
Mätintervall:	10 mm

Data för vattengenomsläpplighet är insamlade med hjälp av dubbelringsinfiltrometer, beskriven av Bertrand (1965). Innerringens diameter var 0,40 m och ytterringens 0,63 m. Båda ringarna hade en höjd av 0,25 m och slogs ner 0,10 m i marken. Efter 2-2,5 timmars flöde antogs mättnad och vattnets sjunkhastighet registrerades och K_f -värdena, den mättade hydrauliska konduktiviteten i fält, beräknades enligt Darcy's lag:

$$K_{fs} = v \frac{z}{h + z}$$

där

K_{fs} = hydraulisk konduktivitet (ms^{-1})

v = vattnets sjunkhastighet (ms^{-1})

z = ledningszonens djup (m)

h = vattenpelarens höjd i infiltrometern (m)

Med en infiltrometer mäter man jordens infiltrationskapacitet och teoretiskt kan den identifieras med den mättade hydrauliska konduktiviteten och kan alltså sägas vara ett uttryck för densamma (Youngs, 1987).

Varje år i oktober mättes toppskotttillväxten. Efter 4 år mättes plantornas totalhöjd och plantorna i Alnarp grävdes upp för att rotmorfologin skulle kunna studeras. Vikten av de ovanjordiska delarna beräknades efter torkning i 105 °C tills konstant vikt hade uppnåtts.

3.6 Markkemiska analyser

Markkemisk analys av prover från Alnarp och Landskrona har utförts av Lantbrukskemiska stationen i Kristianstad, på material med en partikelstorlek mindre än 2 mm. Följande analyser valdes för att få en grov bild av om det förelåg några väsentliga skillnader mellan de olika försöksleden:

- * pH i vatten (pH-H₂O)
- * Fosfor, kalium, magnesium och kalcium i lättillgänglig form (P-Al, K-Al, Mg-Al och Ca-Al)
- * Fosfor och kalium i svårtillgänglig form (P-HCL, K-HCL).

3.7 Skördeanalyser

Under 1988 och 1989 odlades korn på delar av eller hela ytan som inte var trädplanterad. Tanken var att se om det förelåg likheter eller skillnader mellan skördeutfallet av korn och de vedartade växternas tillväxt. Som nämnts tidigare så ströks värdena för 1988 pga viltskador. Prover togs ut i form av att säden klipptes vid markytan i en cirkel med en diameter som gav en skördeyta på 2 m². Proverna analyserades på Provcentralen, SLU, Uppsala.

3.8 Statistiska analyser

Resultaten som redovisas i denna rapport beskriver vad som har hänt med två olika jordar efter att dessa har behandlats på några sätt. Eventuella skillnader mellan behandlingarna kan inte säkerställas statistiskt eftersom, av framförallt ekonomiska skäl, endast en parcell på varje jord har behandlats.

Där resultatdelarna redovisar signifikanta skillnader så baseras dessa på medelvärdesjämförelser gjorda med Student-t test (NCSS, 1987). Dessa jämförelser säger alltså att det föreligger skillnader mellan parcellerna men inte att detta beror på behandlingarna. Skillnader kan ju bero på jordartsvariationer, mätfel mm. Det är upp till läsaren att avgöra om indikationerna är stora nog för att dra egna slutsatser.

Medelvärdesjämförelserna baseras på att antagandet att vi har en normalfördelning och eftersom antalet observationer är mindre än 30 används en t-fördelning (Körner, 1987), eftersom varianserna är okända.

Förutsättningar:

För ett 95 %-igt konfidensintervall där varianserna är olika och okända gäller

$$(\mu_1 - \mu_2) = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_{0,025} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

och där varianserna är lika och okända

$$(\mu_1 - \mu_2) = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_{0,025} s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

där t har

$$d.f. = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = n_1 + n_2 - 2$$

frihetsgrader.

Där den poolade variansen är

$$s_p^2 = \frac{1}{(n_1 + n_2 - 2)} \left[\sum_{i=1}^{n_1} (X_{i1} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (X_{i2} - \bar{X}_2)^2 \right]$$

Vidare antas att felet är normalfördelat

Data har analyserats med hjälp av NCSS version 5.0 (NCSS, 1987).

4 DISKUSSION AV FÖRSÖKEN

4.1 Markkemiska förhållanden

Resultaten av de markkemiska analyserna (Bilaga 7.4) visar att Ph-värdena ligger strax under 8. Detta får betecknas som högt för de flesta växter, med risk för att växterna får svårigheter att ta upp fosfor och vissa mikronäringsämnen, som t ex järn, bor och mangan. Fosfor fastläggs vid höga Ph i form av svårslösliga kalciumfosfater. Värdena är dock inte exceptionella för jordar inom denna regionen, eftersom berggrunden är mycket kalkrik. Det föreligger inga större skillnader mellan de olika parcellerna på respektive ort vad det gäller övriga analyser. Landskronajorden har lite högre värden än Alnarsjorden, men den har också gödslats mer intensivt under den tidigare markanvändningen.

Fosfor- och kaliumklasserna visar att näringsnivån är tillräcklig för det växtmaterial som planterades. En strävan vid gödsling bör vara att båda näringsämnena ligger i samma klass så att det råder en balans mellan dem.

Fosfor är betydelsefullt för energiöverförings-processerna i cellen. Det påverkar också frö- och fruktmognad liksom att det är viktigt för rotutvecklingen. Fosfor läcker sällan från jorden. På grund av det höga Ph-värdet föreligger det en risk för brist. Inga plantor har dock visat några yttre symptom på fosforbrist.

Kalium är väsentlig för tillväxt-processerna och speciellt för fotosyntesen. Kalium spelar också en viktig roll i regleringen av växtens inre vattenbalans. Plantor med en god tillgång på kalium kan motstå uttorkande vindar och frost bättre än de med låga kaliuminnehåll. Även om kalium är rörligt inom plantan, läcker det sällan från jorden.

Vid näringsupptagning råder konkurrens mellan kalium och magnesium och därför är effekten av en K-gödsling inte enbart beroende av K-tillståndet utan också av Mg-tillståndet. För att bestämma Mg-gödslingsbehovet måste man därför ta hänsyn till såväl Mg-Al-talet som relationen mellan K och Mg i marken ($K-Al/Mg-Al$), man talar då om K/Mg-kvoten. Om planteringarna skulle gödslats så skulle alnarsjorden bara kaliumgödslats medan landskronajorden även behövde ett tillskott på magnesium.

4.2 Markfysikaliska förhållanden

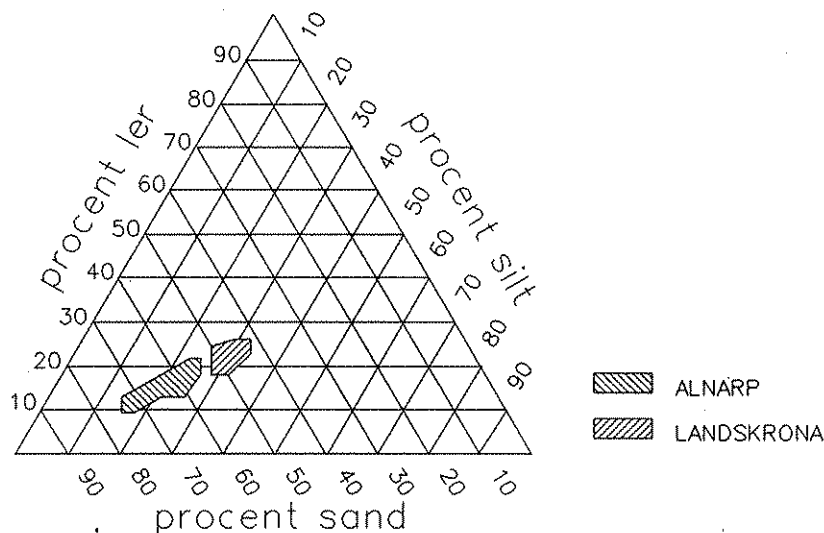
4.2.1 Textur

Figur 4.1 visar de olika provplatsernas texturella sammansättning i form av en texturtriangel. Det fullständiga resultatet från texturanalyserna finns redovisade i Bilaga 7.5. Texturen i parcell A skiljer sig lite från de övriga på provplatsen Alnarp. Detta beror på att jorden här till viss del har blivit omblandad när grävmaskinsluckringen gjordes.

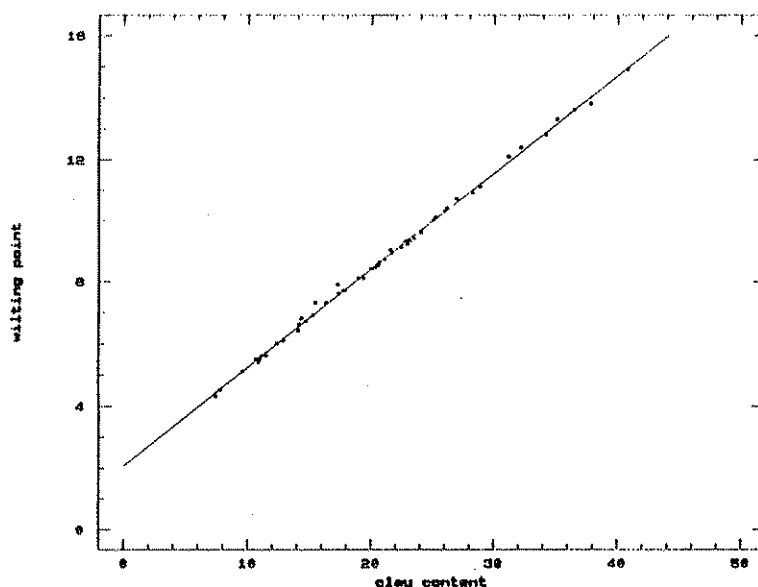
Jordart, Alnarp: A, B, C, och D är lerig moränsand, lerhalt 11-14 %. E är har ett lite större lerinnehåll (17-18%) och klassifieras som moränlättilera. Jorden är något mullhaltig i matjorden och mullfattig i alven.

Landskronajorden har genomgående en högre lerhalt och klassifieras som en moig moränlättilera som underlagras av en moränmellanlera, där lerhalten ökar med djupet upp mot 40 %. Mullhalten är som för alnarsjorden.

På båda försöksplatserna följer vissningsgränsen, lerhalten enligt figur 4.2.



Figur 4.1. Texturell sammansättning hos de olika parcellerna sammantaget inom provplatserna. Diagrammet visar texturen på 0,2-0,3 m djup för Alnarp och Landskrona.



Figur 4.2. Diagram visande regressionen mellan vissningsgräns och lerhalt.

4.2.2 Vattengenomsläpplighet

En marks genomsläpplighet för vatten är beroende av mängden och kontinuiteten av stora porer. Normalt får man en väldigt stor variation i värdena från en och samma plats. En större spricka kan göra att värdena blir mycket höga. Medianvärden (Bilaga 7.6) representerar därför en bättre bild av vattengenomsläppligheten än medelvärden.

Generellt går det att säga att för alnarpsjorden så låg laboratorievärdena lägre i den packade kontrollen, C, än de båda luckrade parcellerna A och B. Både parcell D och E har genomgående låga värden.

För landskronajorden så har den grävmaskinsluckrade parcellen F något högre värden än den packade kontrollen H, 1987 för att vara betydligt större skillnad 1988. Mellan den terraliftade och den packade kontrollen var där inga reella skillnader. Den ytpackade parcellen I hade en betydligt lägre genomsläpplighet än kontrollparcellen J.

Fältmätningarna ger genomgående lägre värden än laboratoriemätningarna. Detta beror på skillnader i vattentemperatur, provens storlek och möjligheten att prover som tas ut störs vid transport. Skillnaderna är dock desamma utom möjligen att det går att se en skillnad mellan parcellerna D och E i fältmätningarna som knappast fanns i laboratoriemätningarna.

4.2.3 Volymsrelationer

I Bilaga 7.7, Tabell 7.11 och 7.13 kan man utläsa att för provplats Alnarp har det skett en 7 - 10 procentig ökning av porvolymen i de båda luckrade leden, A och B, under 1987, jämfört med led C. Skillnaderna kvarstår 1988 för 0,3-0,4 m djup och har ökat för djupen neråt till 12 - 16 procent.

Medelporositeten för lagret 0,3 - 0,6 m djup framgår av tabell 4.1. Här föreligger tydliga skillnader mellan de behandlade leden A och B och den packade kontrollen C. Packningen i ytan i parcell D har påverkat porositeten även på detta djup. För landskronajorden kan man skönja en ökning av medelporositeten från 1987 till 1988 för parcellerna F och G.

Tabell 4.1. Medelporositeten för 0,3 - 0,6 m djup (vol-%)

År	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1987	43,1	46,3	35,4	37,9	40,5	40,9	35,9	40,7	39,7	40,3
1988	44,6	43,5	35,3	36,0	41,5	44,2	39,1	40,3	37,1	41,5

Andelen porer större än 0,03 mm (Bilaga 7.7, Tabell 7.15 och 7.17), har ökat genom luckringen. Led A har (1987) på 0,3-0,6 m djup 8 - 15 % fler makroporer än C och led B har 9 - 18 % fler. Under 1988 är skillnaden ungefär densamma. Resultaten visar också att andelen porer större än 0,03 mm är större i de båda luckrade leden än i den obehandlade kontrollen, E.

Jämför man porvolymerna för led D och E (Bilaga 7.7, Tabell 7.11 och 7.13) så har det ytpackade ledet D några procent lägre värde genom hela profilen både 1987 och 1988. Vad gäller makroporer är där ingen skillnad 1987 men 1988 har D lite lägre andel än E.

För provplats Landskrona (Bilaga 7.7, Tabell 7.12 och 7.14) är porvolymen 1987 för det grävmaskinsluckrade ledet, F, ca 5 procent högre på nivån 0,3-0,4 m, i övrigt lägre än den packade kontrollen H. Ledet G som är behandlat med Terralift har en porvolym som är 4 - 6 % lägre än H genom hela profilen. För 1988 kan konstateras att led F nu har en porvolym som är ca 5 % högre än led H, medan led G fortfarande har en lägre porvolym.

Vad gäller andelen makroporer 1987 (Bilaga 7.7, Tabell 7.16) så har F en högre andel (6%) än H på 0,3-0,4 m djup och skillnaden kvarstår, men blir mindre med djupet. Led G har en lägre andel än H eller ingen skillnad. Resultaten från 1988 (Bilaga 7.7, Tabell 7.18) visar dock att både F och G har,

genom hela profilen, en högre andel makroporer än H. Något har alltså hänt från 1987 till 1988 med de luckrade parcellerna. Luckringen kan vara en hjälp för jorden att snabbare självläka.

Jämför man porvolymerna för led I och J kan konstateras att det ytpackade ledet (I) har ungefär 8 procent lägre porvolym ner till 0,3 m djup. I övrigt är de ungefär lika. Tittar man på andelen makroporer så kan konstateras att J har en markant högre andel än I ner till 0,3 m djup.

Vid ett vattenavförande tryck av 1,0 meter, då makroporsystemet har tömts på vatten, finns det kvar en del vatten i marken som är tillgängligt för växternas rotsystem. Eftersom den största nyttan av luckringarna har varit att vi har fått ett större makroporsystem, och detta är tömt vid fältkapacitet, så är den växttillgängliga delen av markvattnet inte mycket förändrat (Bilaga 7.7, Tabell 7.27- 7.30)

Vad som är viktigt är dock att det efter luckringen inte finns några horisonter i marken som hindrar rotpenetrationen. Ett större rotdjup medför alltså att växten har tillgång till en större jordvolym och därmed också bl a en större vattenvolym.

I detta projekt har rotstudierna inte omfattat direkta mätningar utan bara en subjektiv bedömning av rotmorfologin, varför det inte går att med hjälp av mätdata visa något om rotutvecklingen i de olika behandlingarna. Rolf (1986) visar att grävmaskinsluckringen har förbättrat möjligheterna för en god genomrotning av jorden. Därför finns det anledning att anta att luckringen ger plantorna tillgång till en större vattenvolym. Se vidare kapitel 4.3.

4.2.4 Genomsläpplighet för luft

För alnarpsjorden (Bilaga 7.7, Tabell 7.31) är genomsläppligheten för luft kritiskt låg i alla led utom för B på 0,2-0,3 m djup. Den är generellt något bättre för landskronajorden (Bilaga 7.8, Tabell 7.32) med fler värden över 400 cm/min. Dock kan man lägga märke till att från 0,3-0,4 m djup har G och H mycket låga värden, medan grävmaskinsluckringen i F ser ut att ha förbättrat genomsläppligheten för luft, även om den även här ligger under gränsvärdet 400 cm/min.

Ur Bilaga 7.8, Tabell 7.31 kan man även utläsa att luckringen i A och B har gett en större luftgenomsläpplighet jämfört med C. Det ganska höga värdet (198) på 0,2-0,3 m djup i led D kan förklaras med att en av provcylindrarna hade extremt god genomsläpplighet som kan bero på maskhål eller en större spricka. Som jämförelse kan nämnas att medianvärdet är 13, vilket är mer rimligt. Samma resonemang kan föras för E, 0,1-0,2 m, där medianvärdet är 20.

Den luftfyllda porvolymen är sammanställd i Bilaga 7.8, Tabell 7.15 - 7.18. För led A kan konstateras att en tillräckligt stor del av porsystemet består av porer som vid 1 meters tension är luftförande. Det har inte skett någon skadlig återpackning till 1988 utan andelen luftförande porer har snarast ökat. Led B har också en tillräckligt stor andel luftförande porer och även här har en viss förändring ägt rum till 1988, men här åt det andra hållet. En svag minskning kan märkas. Kontrollledet C har för låg andel på ett par nivåer och detta verkar båda luckringsteknikerna ha åtgärdat.

Både led D och E har för låg andel ner till 0,4 m djup. Att värdet precis i ytan 1987 ligger över 10 beror säkert på den ytliga jordbearbetning som gjorts i samband med ogräsbekämpning.

Jorden i Landskrona har en betydligt lägre andel luftfyllda porer och det är endast ett par nivåer som kommer över gränsvärdet vid mätningarna gjorda 1987. Notabelt är att det ytpackade ledet I har för låg andel genom hela profilen.

1988 har led F värden som överstiger gränsvärdet. Detta torde bero på att luckringen har skapat dräneringsvägar för vattnet i profilen och jorden har torkat upp bättre, vilket hos en lerjord som denna innebär att jorden krymper och nya porer har skapats.

Luckringen i led G har inte lyckats lyfta upp den luftfyllda porvolymen till en tillräckligt hög nivå även om den förbättrat densamma jämfört med led H. I led I har inte tidens tand lyckats läka sårerna efter packningen, utan värdena är till och med lägre 1988 än 1987.

4.2.5 Korndensitet och torr skrymdensitet

Det förelåg ingen större skillnad i korndensitet mellan de olika parcellerna. Korndensiteten är lägst i markytan och ökar lite med djupet.

Skrymdensiteten eller som den också kallas, volymvikten, kan vid en jämförelse mellan olika parceller, anses som en indikation på en jords packningstillstånd om korndensiteten och texturen är samma i parcellerna. Exakt lika kommer de aldrig att vara och de skillnader som föreligger i detta försök får anses som ganska normala.

För Alnarps del så gav, 1987, både grävmaskinsluckringen och Terralift-behandlingen sänkta skrymdensiteter jämfört med den packade kontrollen. För grävmaskinsluckringen så hade värdena sjunkit ytterligare ett år senare, för Terralift hade de ökat något beroende på återpackning. För parcell D, den ytpackade så var skrymdensiteten klart lägre ner till 50 cm djup jämfört med kontrollen.

På landskronajorden var det inga signifikanta skillnader det första året mellan Grävmaskin, Terralift och kontroll. Ett år senare var det skillnader mellan grävmaskin och packad kontroll. De här förändringarna som också fanns i Alnarp kan förklaras med att metoden är en start för den naturliga luckringen som genom bl a krympning och svällning förändrar skrymdensiteten. Grävmaskintekniken luckrar till en viss del men huvudsakligen så hjälper den marken att självläka genom att överskottsvatten dräneras bort och rötterna får en möjlighet att penetrera jorden. För Terralifts del ser det ut som att på denna typ av lerjord så har metoden mycket små möjligheter att förändra skrymdensiteten till det bättre.

Den ytpackade jorden i Landskrona hade lägre skrymdensitet än kontrollen.

4.2.6 Penetrationsmotstånd

Mätning av penetrationsmotstånd gjordes varje år under senhösten, när marken förväntades ha fältkapacitet. För 1988, 1,5 år efter att behandlingarna gjordes, kunde inte alla mätningar genomföras då marken tjälades tidigt.

Genom att använda en kon-penetrometer kan man få en bild av markens mekaniska tillstånd. Ju lägre penetrationsmotståndet är desto luckrare är jorden och desto lättare är det för rötterna att penetrera jorden. Bilaga 7.10, Figur 7.1 - 7.8 visar penetrationsmotståndet för de olika behandlingarna.

I figur 7.1 kan konstateras att penetrationsmotståndet, för kontrollkurvan C, stiger från 0,3 m djup och nedåt. Detta beror på den packning som gjordes när försöket anlades. För grävmaskinsluckringen kan konstateras att penetrationsmotståndet från 0,3 m och nedåt hade sänkts. För Terralift-behandlingen ser man att mellan 0,3 och 0,5 m djup så var penetrationsmotståndet ännu lägre än för grävmaskinsbehandlingen, men kurvan går brant uppåt på större djup. Den troligaste orsaken till detta är den rikliga stenförekomst som förelåg på detta djup.

Mätningen ett år senare (figur 7.2) visar att behandlingarnas effekt kvarstod. Kontrollkurvan har dock ett litet annorlunda utseende, med ett maximivärde vid ca 0,4 m djup. Detta är den bild av packningsförloppet som man kunde förvänta sig och som också stämde överens med mätningarna i de andra parcellerna som packats.

Den sista mätningen (figur 7.3) som gjordes 2,5 år efter att behandlingen genomfördes visade samma skillnader som föregående års. Här finns emellertid en liten skillnad för kurva A, den grävmaskinsluckrade. På 0,12-0,20 m djup var penetrationsmotståndet högre än för kontrollen. Detta kan förklaras med att det har skett en lite kraftigare packning genom den plöjning och jordbearbetning som gjordes innan kornet såddes. Det är alltså en liten plogsula. Det går även att utläsa förhöjda värden för kurva B även om det inte är så tydligt. Dessa plogsulor uppkommer i de behandlade leden eftersom en jord som är luckrad är mycket känsligare för återpackning än en som har en mer stabil struktur, vilket är fallet med kontrollen.

Vi ser också att penetrationsmotståndet ökade något för varje djup med åren. Detta kan bero på skillnader i vattenhalt vid mättillfällena, men troligast är att det har skett en naturlig återpackning.

För Landskronas del gav penetrationsmätningarna (Bilaga 7.10, Figur 7.4 och 7.5) ett liknande resultat vad gäller parcell F, den grävmaskinsluckrade. Penetrationsmotståndet var klart lägre. Den Terralift-behandlade parcellen G skilde sig inte från kontrollen H.

Den ytpackade parcellen D hade ett betydligt högre penetrationsmotstånd (Bilaga 7.10, Figur 7.6) än kontrollen E, ner till ungefär 40 cm djup. Förhållandena var desamma mellan parcellerna I och J i Landskrona (Bilaga 7.10, Figur 7.7 och 7.8).

4.3 Tillväxt och rotmorfologi

Under det första året efter plantering så förelåg det inga skillnader i tillväxt mellan de olika parcellerna. Detta stämmer med tidigare erfarenheter (Rolf, 1986) om att rotutvecklingen inte begränsas det första året.

Alla arter utom oxel var högre i den grävmaskinsluckrade parcellen i Alnarp än i den packade kontrollen efter fyra års tillväxt. Terralift-behandlingen uppvisade inga skillnader. För Landskronas del kan konstateras att varken grävmaskins- eller Terralift-behandlingen har haft någon signifikant inverkan på totalhöjden.

En viss skillnad framförallt för grävmaskinsmetoden hade man kunnat förvänta sig men det visade sig att jorden i Landskrona är en kraftigt svällande och krympande typ av lerjord. Detta har gjort att även den packade kontrollen har luckrats naturligt. Fältmätningarna av den mättade hydrauliska konduktiviteten visar också inga direkta skillnader mellan de olika behandlingarna. Detta visar att det finns ett spricksystem som effektivt tar hand om vattnet och dessa sprickor är då också utmärkta rotvägar. Denna typ av lerjord läker alltså snabbt efter att den packats.

Vad gäller de ytpackade parcellerna (D och I) så är tillväxten klart lägre när man jämför med kontrollparcellerna E och J. Detta visar att man kan förvänta sig mycket dåligt etablerings- och tillväxtresultat när man planterar direkt i en packad horisont.

Samtliga träd i parcellerna A, B, C och D grävdes upp med grävmaskin. En viss bild av trädens rotmorfologi kan därigenom ges utan att på något sätt kunna säga att rottillväxten är kvantifierad. Några direkta mätningar har inte gjorts. Vad gäller parcell D som normalt skall jämföras med E så ställs dessa plantor här i relation till de övriga uppgrävda plantorna. Plantorna i parcell E kunde inte grävas upp på grund av frusen mark.

När det gäller lönn (Figur 4.3) så var rotsystemen klart flackare i parcell C än i A och B. Plantorna i parcell D hade generellt mindre rotsystem.

För hassel (Figur 4.4) går det inte att se någon skillnad i rotmorfologi mellan A, B och C, medan plantorna i D har ett klart mindre rotsystem.

Askens rötter (Figur 4.5) gick djupare i parcell A än i övriga parceller. Askarna i parcell D har ett för arten litet och klen rotsystem.

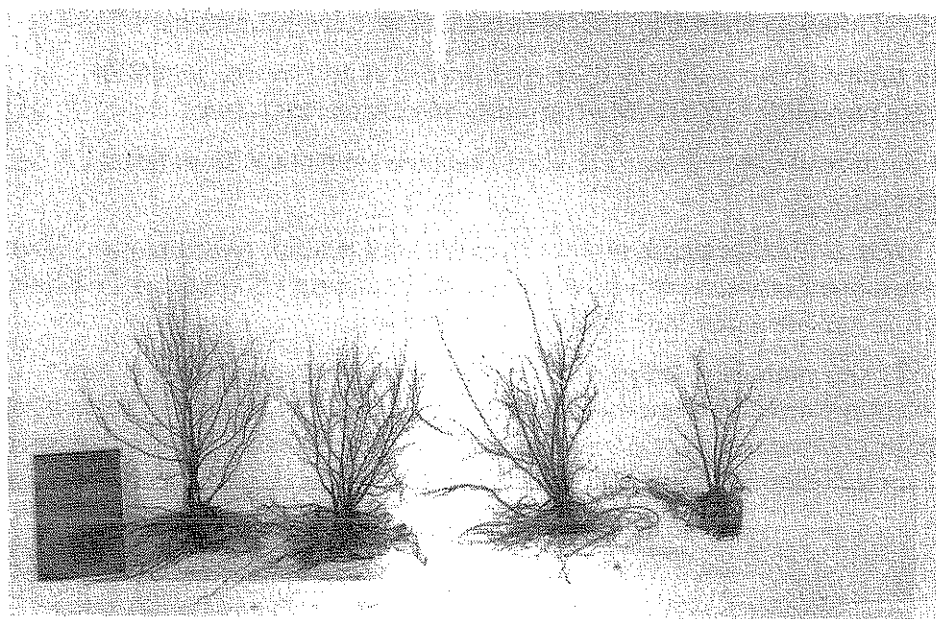
Oxlarna i parcell C och D har ett klart flackare rotsystem än oxlarna i A och B. (Figur 4.6)

Det är svårt att utläsa några generella skillnader mellan ekarna i parcellerna A, B och C även om man kan tyda en viss förflackning i C (Figur 4.7). Ekarna i parcell D har för arten små och klena rotsystem.

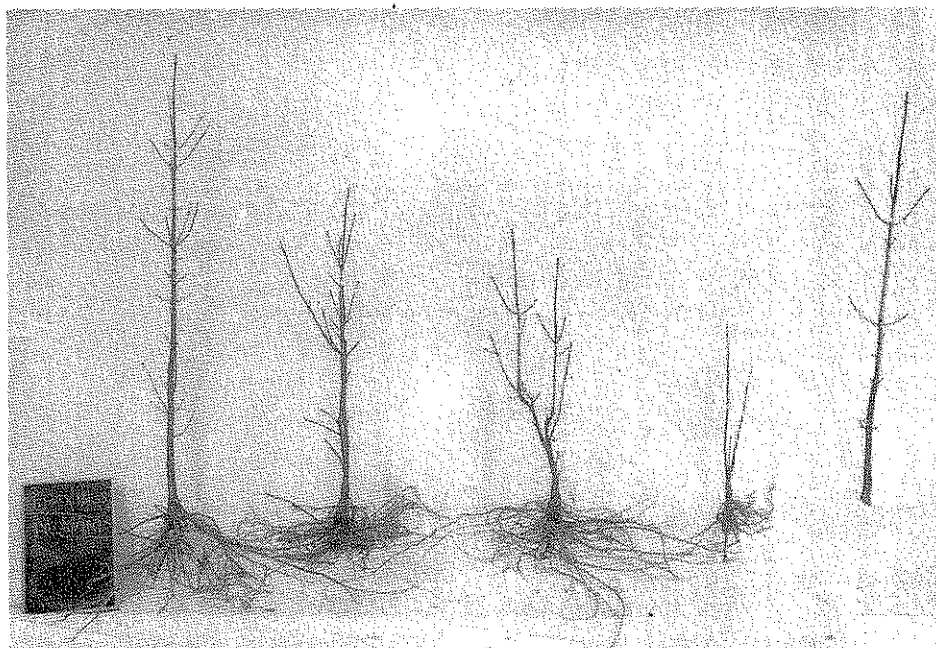
Generellt kan man säga att plantorna i den ytpackade parcellen, D har mindre rotsystem än övriga medan plantorna i parcell C har ett flackare rotsystem än plantorna i de luckrade parcellerna. Orsakerna till detta bör vara att det mekaniska motståndet för rötterna är mindre i dessa luckrade parceller.



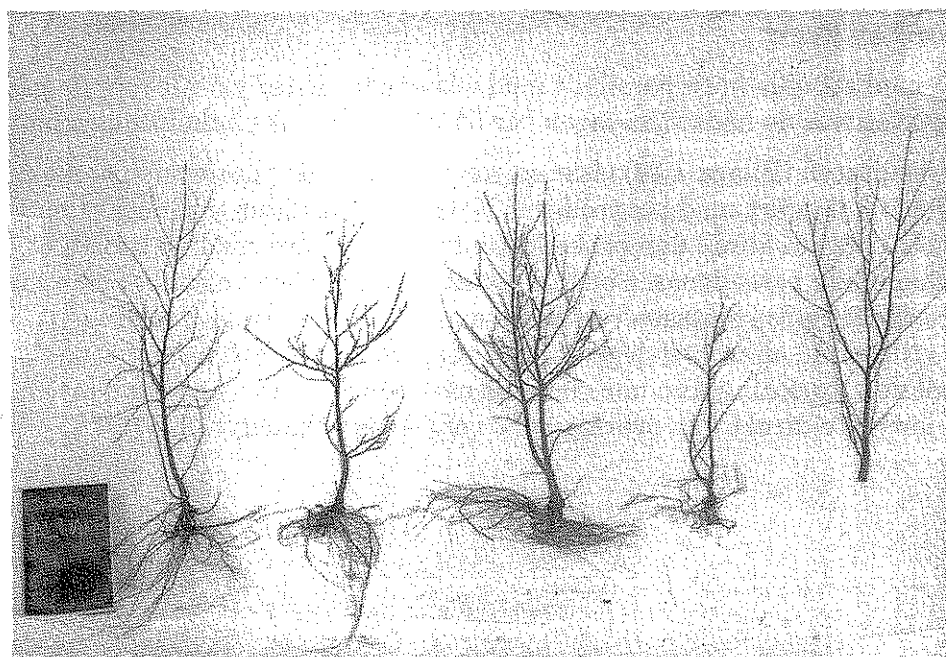
Figur 4.3. Acer platanoides, lönns. Medianplantor för de olika behandlingarna. Från vänster A - E.



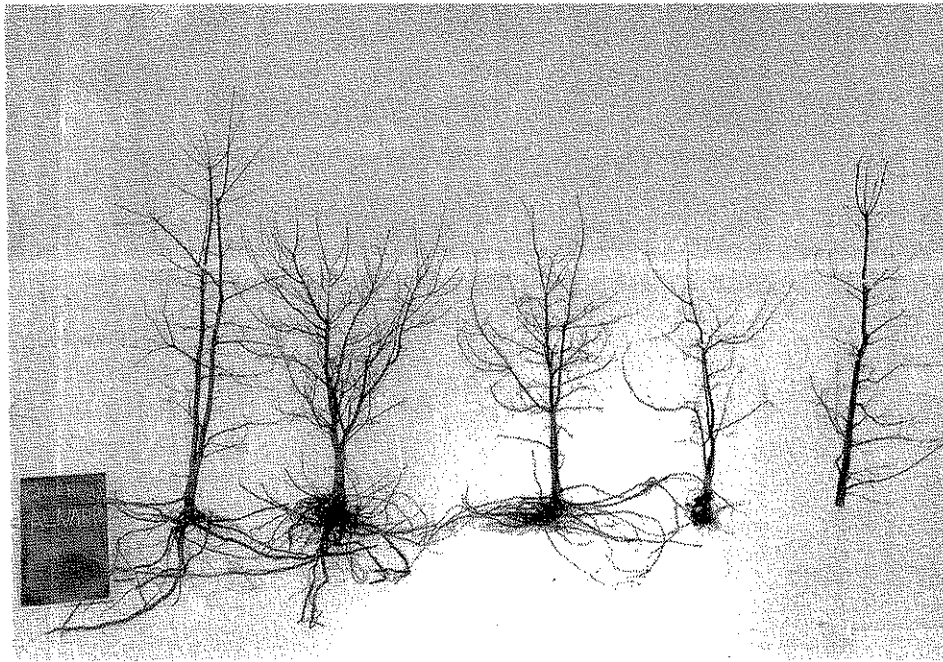
Figur 4.4. Corylus avellana, hassel. Medianplantor för de olika behandlingarna. Från vänster A - E.



Figur 4.5. Fraxinus exelsior, ask. Medianplantor för de olika behandlingarna. Från vänster A - E.



Figur 4.6. Sorbus intermedia, oxel. Medianplantor för de olika behandlingarna. Från vänster A - E.



*Figur 4.7. Quercus robur, ek. Medianplantor för de olika behandlingarna.
Från vänster A - E.*

4.4 Skörd av korn

Tanken med att odla korn parallellt med vedartade växter var att ta reda på om tillväxten hos de båda växtslagen var likartad i de olika behandlingarna.

Skörderesultaten (Bilaga 7.12) visar en sämre skörd i de ytpackade parcellerna D och I, jämfört med kontrollerna E och J. Resultaten visar också en tendens till högre skörd i den packade kontrollen jämfört med de båda luckringsbehandlade parcellerna. Som helhet så är det få observationer och man kan inte dra för stora slutsatser av detta materialet. Här finns dock ingen tendens till att de olika växtslagen skulle reagera lika på behandlingarna, varför all den forskning som har gjorts på sädesslaget korn i samband med packad jord inte direkt kan överföras till vedartade växtslag.

5 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Den belastning som provplatserna utsattes för påverkade makroporsystemet så att luftgenomsläppligheten och andelen luftfyllda porer kraftigt minskade. Detsamma skedde med porvolymen. Det var alltså de markfysikaliskt viktiga delarna av porsystemet som förstördes.

Luckringen med grävmaskin på den mullfattiga leriga moränen i Alnarp gav en ca 10 procentig ökning i porvolym. Denna ökning bestod till största delen av de för vatten- och luftgenomsläpplighet så viktiga makroporerna. Marken hade motstått en återpackning när den utsattes för jordbearbetningsmaskiner i samband med sådd och plöjning. Makroporsystemet, som är den del av porsystemet som förstörs först vid en belastning, hade snarare ökat än minskat vilket torde bero på att de markfysikaliska och markbiologiska processerna har gynnats av luckringen.

Luftgenomsläppligheten och den luftfyllda porvolymen förbättrades med båda luckringsmetoderna på alnarpsjorden. Även om det vore önskvärt med ännu högre luftgenomsläpplighet ($> 400 \text{ cm/min}$) så får resultaten betraktas som tillfredsställande.

Den i de översta 40 cm något mullhaltiga moränlättileran och därunder liggande moränmellanleran i Landskrona hade genom behandlingen med grävmaskin fått ca 5 % högre porvolym och även här bestod förbättringen till största delen av makroporer. Den luftfyllda porvolymen förbättrades men det var först vid mätningarna 1988 som den kom upp i en acceptabelt hög nivå. Detta kan bero på de ovan nämnda impulserna som luckringen ger till jordens självläkning.

Luckringen med tryckluft (Terraliftutrustning) gav samma positiva effekter på porsystemet på alnarpsjorden, medan effekterna på landskronajorden var mer svårtolkade. Behandlingen gav förändringar, men de var ytterst små, varför metodens markfysikaliska effekter är tveksamma. Ett år efter luckring verkar det som om tryckluftsbehandlingen på en lerjord, om man ser till vissa parametrar, till och med hade förvärrat skadan som redan fanns.

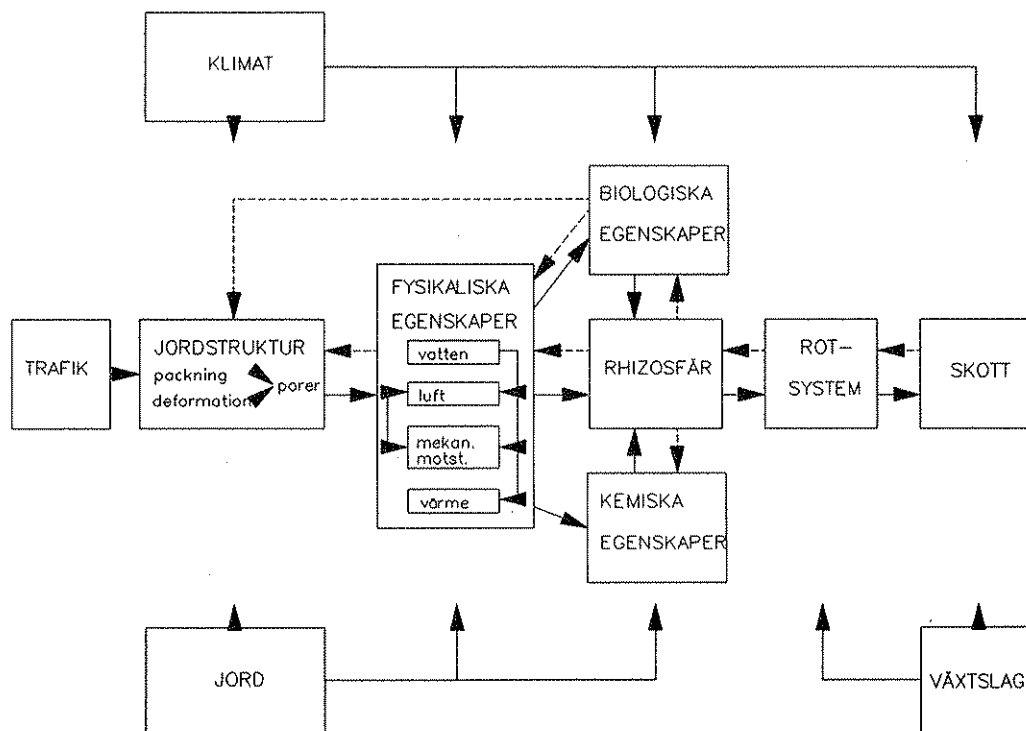
Luckringarna gav ingen förändring i mängden växttillgängligt vatten, vid en normal dränering till en meters djup, men genom att det mekaniska motståndet för rötterna minskade så kan rötterna penetrera en större volym och få tillgång till en större mängd växttillgängligt vatten. Den maximala vattenlagrande kapaciteten ökade eftersom porvolymen ökade, men den största delen av denna kapaciteten dräneras snabbt bort. Detta är också en av anledningarna till att utföra en luckring. Man vill ha bort överskottsvattnet så att porsystemet kan utnyttjas för luftväxlingen. Det är först när vi vet till vilka djup som rotsystemet har utvecklats som det går att göra en beräkning av hur lång period av torka som plantorna kan utstå.

Luckringarna utfördes vid en vattenhalt som var högre än den som rekommenderas vid användning av traditionell alvluckrare. I denna undersökningen har inga försök gjorts med luckring vid en vattenhalt motsvarande vissningsgränsen, men grävmaskinsluckringen torde inte vara så känslig för vattenhalten som den traditionella alvluckraren. Vid luckring med Terralift bör dock luckringen utföras vid så uttorkad jord som möjligt.

Ingen luckring kan ersätta de naturliga processernas förmåga att läka en genom packning skadad jord, men den kan påskynda läkningen, genom att överskottsvatten snabbt dräneras bort och luften åter kan strömma fritt i porsystemet. De undersökta metoderna har påverkat porsystemet och pors-torleksfördelningen. Effekterna är större på den lättare alnarpsjorden och det verkar som effekterna blir som mest positiva först ett år efter luckringen.

Grävmaskinsluckring hade en positiv effekt på porsystemet och bör kunna användas på de flesta svenska jordtyper. Ett stort frågetecken skall dock sättas för luckring på jordar med hög silthalt, då dessa har en tendens till att snabbt slamma igen. Luckringens varaktighet är tveksam och det är frågan om det är ekonomiskt försvarbart att luckra en siltjord.

Att använda tryckluft för att luckra mark är en intressant metod. Det som denna undersökning har funnit är att Terralift har en god effekt på porsystemet på en jord där friktionsegenskaperna dominerar, medan effekten är mer tveksam på en kohesionsjord. I dessa jordar (lerjordar) verkar det bara bli ett fåtal nya sprickor och framtida undersökningar får utvisa om detta är tillräckligt eller ej. Finns det något gränsvärde för relationen mellan lerhalt och vattenhalt vid behandlingen? Detta går inte att svara på nu men försök har nu startats upp även på andra håll i världen och förhoppningsvis kan vi samköra våra resultat på olika jordar och hitta en ståndpunkt.



Figur 5.1. Funktionella samband mellan jordpackning och tillväxt. Efter Boone, 1986)

Det finns ingen universell faktor som helt bestämmer tillväxten hos en planta. Anledningen kan förklaras med det komplexa system av funktionella samband som finns mellan jordpackning och tillväxt (Figur 5.1). Figuren beskriver alla de faktorer som påverkar och samverkar när det gäller en plantas tillväxt. Det är därför svårt att plocka ut en enskild faktor som viktigare än en annan. Marken och växterna ingår i ett biologiskt system som är beroende av alla faktorer.

En sammanfattning av åtgärder för att minska de skadliga effekterna av jordpackning kan dock resultera i följande åtgärdsschema utan någon slags inbördes rangordning:

Optimerad trafik;

Minskning av axellaster: Grönsektorns maskiner är som regel små. Det är framförallt lastbilar, dumpers och grävmaskiner som orsakar skadorna. Denna trafik bör begränsas till speciella körytor där antingen marken i framtiden skall användas för trafikytor eller har skyddats med någon form av körlager av makadam eller flis.

Lastfördelning fram-bakhjul: En del små maskiner, som mindre hjullastare och dylikt har normalt låga axeltryck. När dessa maskiner lastas maximalt sker dock en omfördelning av axelbelastningen så att större delen av maskinvikten och lasten finns på en axel. Dessa axeltryck kan då närma sig kritiska gränsvärden som 6 tons axeltryck (Danfors, 1977).

Undvik upprepade körningar: Den första passagen orsakar den största skadan, men det blir värre med fler. All onödig körning bör undvikas.

Däcksutrustning: Använd stora däck med låga ringtryck. En ökad diameter minskar marktrycket eftersom kontaktytan är större och minskar nedsjunkningen. Ett bredare däck ökar också kontaktytan.

Tidpunkt för körning: Undvik körning när marken är våt. Marken är som mest packningskänslig när den är våt, som efter ett regn.

Rätt maskinpark kan vara avgörande för om skador uppkommer eller inte. Man bör inte använda större maskiner än nödvändigt.

Luckra med rätt luckringsteknik;

Alvluckrare: För stora ytor före plantering, där marken är torr.

Grävmaskin: För stora och små ytor före plantering. Jorden bör vara torr men metoden är inte lika känslig för vattenhalten som ovanstående.

Tryckluft: I vissa situationer i befintliga planteringar. En noggrann undersökning av marken bör göras före behandling för att ta reda på om det lönar sig att använda metoden.

Marken är mer packningskänslig efter en luckring än under normala förhållanden. Det blir än värre om man kör på en djupluckrad jord. En luckrad jord har en mindre stabil struktur och återpackas snabbt om den utsätts för större belastningar. En tung körning kan resultera i att jorden blir än mer packad än den var före luckringen och arbetet är ogjort.

Med hjälp av en grävmaskin fås en god luckring av packad mark. Denna metod kan idag rekommenderas för användning före plantering. I etablerad vegetation och runt träd som står i en starkt komprimerad mark finns ingen väl fungerande metod för luckring. Som en vidareutveckling av detta projektet pågår nu studier av att använda en grävmaskin med en asfaltrivartand monterad i skopfästet. Denna metod skulle kunna användas om det visar sig att skadorna som uppkommer på rotsystemen inte är alltför hämmande på

växten. Skadorna som uppkommer på rotsystemen är kanske ett steg tillbaka, men luckringen kan ge sådana förutsättningar att växten sedan tar flera steg framåt.

Internationellt pågår vissa studier av hur olika arter tolererar packad mark. Dessa studier syftar till att rekommendera arter för plantering i situationer där en luckring är svår genomförbar. Detta kan vara ett komplement men bör inte ersätta skadeförebyggande åtgärder.

En del av ovanstående åtgärder kan skrivas in som krav i bygghandlingarna. Under byggprocessens olika skeden kan marken skyddas för packning och man bör skriva in vilken luckringsmetod som skall användas. Det är nödvändigt att det sätts ett pris på entreprenörers oförsiktighet.

Det finns i Mark AMA 83 (Svensk Byggtjänst, 1983) inskrivet under punkt D3.11 "Växtbädd typ 1 och 2, påförd jord" att "Jord skall läggas ut så att växtbädden inte packas." och under punkt D3.12 "Växtbädd typ 3, 4 och 5, befintlig jord" att "Jorden skall luckras och avjämnas." Detta är en skrivning som klart fastställer vad som gäller, men **det följs inte** av entreprenörerna. Dock bör närmare specificeras vad som menas med 'inte packas'. En viss form av packning måste tillåtas av nödvändighet för växternas groning och etablering. Varje jord har sin optimala packningsgrad för bästa tillväxtutbyte. Denna skrivning bör alltså preciseras. Ett problem är dock att det inte finns någon billig, fungerande kontrollmetod för besiktningsmän. Detta arbetsområde måste utvecklas parallellt med att man ställer mer precisa krav. Det finns inom lantbruksforskningen vissa studier som visar på optimala packningsgrader för olika jordarter. Dessa resultat borde kunna användas som riktvärden även inom den gröna sektorn.

Under punkt D3.11 i RA 83 Mark (Svensk Byggtjänst, 1983) anges krav på luckring av terrassytan och under punkt D3.247 står det om djupbearbetning för dränering. Under båda punkterna bör man ange arbetsmetod, bearbetningsdjup och när arbetet får utföras. Idag har grävmaskintekniken börjat användas men fortfarande dominerar rivartanden bakmonterad på en banddriven schaktmaskin. Det är ytterst sällan som man verkligen får en luckring med hjälp av den sistnämnda metoden, eftersom metoden är så vattenhaltskänslig, varför det klart måste anges när denna metod får användas.

Det får inte gå rutin i användandet av någon metod. Det är onödigt att luckra en yta som inte är i behov av det. Man försämrar bara den existerande porstrukturen. All luckring skall ske efter att man fastställt behovet och till vilket djup skadan går.

6 LITTERATURFÖRTECKNING

- Achilles, A. 1980. Bodenbearbeitung durch Druckluft. *Landtechnik* 3, 105-106.
- Andersson, S. 1953. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. II. Om markens permeabilitet. *Grundförbättring* 6, 28-45.
- Andersson, S. 1969. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XIX. Teoretiska modellstudier av några kapillära systems k-värden som funktioner av porstorleksfördelning, bindningstryck och vattenhalt. *Grundförbättring* 22, 143-154.
- Andersson, S. & Wiklert, P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. *Grundförbättring* 25, 53-143.
- Araya, K., Tunematu, S., Ochi, K., Gao, R. & Zhao, H. 1989. Break-up of Heavy Clay Soil Layers by Explosives. *Transactions of ASAE. Vol 32(4):July-August*, 1121-1125.
- Aura, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. *Journal of the Scientific Agric Society of Finland*, 55, 91-107.
- Ball, B.C. 1979. *Characterisation of soil pores by gas flow and diffusion*. Doktorsavhandling, University Reading (opublicerat) 205 sidor.
- Bell, D.J. 1974. *Flood-caused tree mortality around Illinois reservoirs (forests)*. Ill. State Acad. Sci. Trans. 67(1), 28-37.
- Berben, J.C. 1972. Influence of soil compaction and precipitation on root and stem growth by several species of trees. *Agricultura*. 20(3), 129-148.
- Bertrand, R. 1965. Rate of Water Intake in the Field. I: C.A. Black (ed), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Properties Including Statistics of Measurements and Sampling*. Agronomy 9. sid 202-209. Am. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Blackwell, P.S. & Soane, B.D. 1981. A Method of predicting bulk density changes in field soils resulting from compaction by agricultural traffic. *Journal of soil science*, 32: 51-65.
- Borchert, H. & Graf, R. 1981. Über die Erhaltung der Tieflockerung. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 22, 268-273.
- Caterpillar. 1981. *Handbook of earthmoving*. Caterpillar Tractor Company, Peoria, IL. 31 sidor.
- Chang, H.T. & Loomis, W.E. 1945. *Effect of carbon dioxide on absorption of water and nutrients by roots*. *Plant Physiol.* 20, 221-232.
- Currie, J.A. 1960. Gaseous diffusion in porous media. A nonsteady state method. *Br J Appl Phys* 11, 314-324.
- Danfors, B. 1977. Jordpackning - hjulustrustning. Jordbrukstekniska institutet. Meddelande 368. Uppsala.
- De Haan, F.A.M. & Van der Valk, G.G.M. 1970. Effects of compaction on physical properties of soil and root growth of ornamental bulbs. *Proc. 1st. Int. Symp. Flower Bulbs (1970). Nordwijk, The Netherlands*, 326-332.

- Dixon, W.J. 1965. Extraneous values. In: C.A. Black (ed), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Properties Including Statistics of Measurement and Sampling*. Agronomy 9 (1st ed.). pp 43-49. Am. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Edling, A.P.G. 1973. *Några aspekter på jordluften - en undersökning av dess volym och omsättningsmöjligheter*. Lic avh Avd för lantbrukets hydroteknik, Lantbrukshögskolan.
- Edling, A.P.G. 1986. *Soil air. Volume and Gas Exchange Mechanisms*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst för markvetenskap. Avd för lantbrukets hydroteknik, Rapport 151.
- Edling, P., Nilsson, N.M. & Håkansson, I. 1969. *Sju skånska försök med alv-luckring och djupplöjning 1964-68*. Lantbrukshögskolan. Rapporter från jordbearbetningen. 19.
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F. & Böhm, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research*, 3, 261-275.
- Ekström, S. 1927. *Klassifikation av svenska åkerjordar*. Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C. No. 345. Stockholm.
- El-Araby, A., El-Haddad, Z. & El-Ansary, M. 1987. Subsoiling in Some Heavy Clay Soils of Egypt. *Soil and Tillage Research*. 9, 207-216.
- Entreprenad skogsmaskiner. 1987/88. Hälleknis: Cobra Förlag.
- Eriksson, J. 1976. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. *Grundförbättring*, 27, 33-51.
- Eriksson, J. 1982. *Markpackning och rotmiljö. Packningsbenägenheten hos svenska åkerjordar. Förändringar i markens funktion orsakade av packning*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst för markvetenskap, avd för lantbrukets hydroteknik, Rapport 126.
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B. 1974. *Jordpackning - markstruktur - gröda*. Jordbrukstekniska institutet, Meddelande nr 354. Uppsala.
- Franz, G. 1976. Der Einfluss der Tieflockerung von Pseudogleyen auf die Bodenorganismen und die Beständigkeit dieser Meliorationsmassnahmen. *Ldw Forschung* 29, H.1, 77-87.
- Grable, A.R. & Siemer, E.G. 1968. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32: 180-186.
- Grable, A.R. 1971. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. I: K.K. Barnes, W.M. Carlton, H.M. Taylor, R.I. Throckmorton & G-E. Vanden Berg, *Compaction of Agricultural Soils*. Am. Soc. Agric. Eng. St. Joseph, MI, 154-164.
- Harris, D.G. & van Bavel, C.H.M. 1957. *Nutrient uptake and chemical composition of tobacco plants as effected by the composition of the root atmosphere*. Agron. Journal. 49, 176-181.
- Harris, R.W. 1983. *Arboriculture, care of trees, shrubs and vines in the landscape*. 688 s. London: Prentice-Hall Inc.

- Hatchell, G.E., Ralston, C.W. & Foil, R.R. 1970. Soil disturbance in logging. *J. For.* 68, 772-775.
- Hoeks, J. 1972. *Effekt of leaking natural gas on soil and vegetation in urban areas*. Agric Res Rep 778. Wageningen.
- Hopkins, R.M. & Patrick, Jr, W.H. 1969. Combined effect of oxygen content and soil compaction on root penetration. *Soil Science*, vol 108, nr 6, 408-413.
- Hosner, J.F. 1960. *Relative tolerance to complete inundation of fourteen bottomland tree species*. *For. Sci.* 6, 246-251.
- Håkansson, I. 1976. *Elva försök med alvluckring och djupplöjning i syd- och västsverige 1964-1975*. Lantbrukshögskolan. Rapporter från jordbearbetningen. 42.
- Håkansson, I. 1983. *Fysikaliska betingelser för rotutveckling i odlade jordar. I Roten och rotens miljö II*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Konsulentavdelningens rapporter, Allmänt 47, 13-21.
- Håkansson, I., Voorhees, W.B., Elonen, P., Raghavan, G.S.V., Lowery, B., Van Wijk, A.L.M., Rasmussen, K. & Riley, H. 1987. Effect of high axle load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. *Soil and Tillage Research*, 10, 259-268.
- Jackson, M.B. & Drew, M.C. 1984. Effect of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. I *Flooding and plant growth*, Ed Kozlowski, T.T. New York: Academic Press, Inc.
- Jennings, D.S., Thomas, M.D. & Gardner, M. 1922. A new method of mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 14, 485-489.
- Karlsson, I.M. (1988). *Soil Construction, Drainage and Maintenance for Swedish Grassed Parks and Sports Fields*. Acta Agriculturae Scandinavica. Supplementum 26. Uppsala.
- Kofoed, D. 1960. Dydbearbejdning. *Hedeselsk. Tidskr.* 81, 245-250.
- Kozlowski, T.T. 1985. *Soil aeration, flooding and tree growth*. *Journal of Arboriculture*. 11, 85-96.
- Körner, S. 1987. *Statistisk dataanalys*. Lund: Studentlitteratur.
- Labanouskas, C.K., Stolzy, L.H., Klotz, L.J. & Dewolfe, T.A. 1971. *Soil oxygen diffusion rates and mineral accumulations in citrus seedlings*. *Soil Science*. 111, 386-392.
- Lees, J.C. 1972. Soil aeration response to drainage intensity in basin peat. *Forestry* 45, 135-143.
- Lemon, E.R. 1962. Soil aeration and plant root relations. I. Theory. *Agron Journal* 54, 167-170.
- Lemon, E.R. & Wiegand C.L. 1962. Soil aeration and plant root relations. II. Root respiration. *Agron Journal* 54, 171-175.
- Letey, J., Stolzy, L.H. & Blank, G.B. 1962. *Effect of duration and timing of low soil oxygen content on shoot and root growth*. *Agron. Journal*. 54, 34-37.

- Ljung, G. 1987. *Beskrivning av en rationell metod för jordartsbestämning*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst för markvetenskap, avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 87:2. Uppsala.
- Ljungars, A. 1977. *Olika faktorerers betydelse för traktorernas jordpackningsverkan. Mätningar 1974-76*. Lantbrukshögskolan. Institutionen för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, nr 52.
- Martin, W.P. 1968. Soil structure - its importance to tree root growth. *Proc. Int. Shade Tree Conf.* 44, 42-50.
- Martinovic, L. 1982. *Einfluss von mekanischer und pneumatischer Tieflockerung des Bodens auf Gefüge, Wasserdynamik, Wurzelentwicklung und Ertrag bei drei Bodentypen*. Diss. Bonn.
- McKyes, E. 1985. *Soil Cutting and Tillage*. Development in Agricultural Engineering 7. Amsterdam: Elsevier. 217 sidor.
- Meimberg, R. 1967. *Die Wirkung von Untergrundlockerung und Maulwurfdränung auf den Wasserhaushalt verdichteter Böden*. Bayrisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 44, Sonderheft 3, 55-61.
- Müller, W. 1985. Standortkundliche Voraussetzungen für die Gefügemelioration durch Tieflockerung im humiden Klima. I *Die Gefügemelioration durch Tieflockerung - Bisherige Erfahrungen und Ergebnisse*. DVWK Schriften 70. 1-36.
- NCSS, 1987. *Number Cruncher Statistical System*. Version 5.0 10/87. Kaysville, Utah: Hinze.
- Nilsson, N.M. & Henriksson, L. 1968. *Alvluckringsförsök 1937-1963*. Lantbrukshögskolan. Rapporter från jordbearbetningen. 12.
- Nilsson, T. 1975. *Rotfunktion och rotmiljö*. Lantbrukshögskolan. Konsulentavdelningens stencilserie. Trädgård 92. Alnarp.
- Nitschke, S., Schockert, K. & Rohlfing, H.-R. 1986. Terralift - Bodenlockerungsverfahren. *Neue Landschaft* 31, 501-504.
- Olsen, H.J. 1987. Electronic Cone Penetrometer for Field Tests. *Proceedings volume 1. 9th International Conference*. International Society for terrain vehicle systems.
- Olsen, H.J. 1990. *Construction of an Electronic Penetrometer for Use in the Field*. Computers and Electronics in Agriculture, 5, 65-75.
- Patt, J., Carmeli, D. & Zafrir, T. 1966. Influence of soil physical conditions on root development and on production of citrus trees. *Soil Sci.* 102, 82-84.
- Pirone, P.P. 1972. *Tree maintenance*. Ed 4. Oxford University Press, New York. 574 pp.
- Rasmussen, K.J. 1976. *Danish experiments on soil compaction*. Lantbrukshögskolan, Institutionen för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 45, 32:1-4.
- Richards, D. & Cockroft, B. 1974. Soil physical properties and root concentrations in an irrigated apple orchard. *Austral. J. Exptl. Agric. and Animal Husb.* 14, 103-107.
- Richards, L.A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soils. *Soil Sci* 66, 105-110.

- Robinson, G.W. 1922. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *J. Agric. Sci. (Cam.)* 12, 306-321.
- Rolf, K. 1986. *Packning och packningsskador i urban miljö. - En markfysikalisk undersökning av en planteringsyta.* Stad och Land, Nr 50.
- Rolf, K. & Moback, U. 1991. Trädgropar i gatumiljö. Gröna Fakta C1. Utemiljö 4.
- Romell, L.G. 1922. *Luftväxlingen i marken som ekologisk faktor.* Medd Stat Skogsförsöksanst 19, 131-359.
- Rosén C.J. & Carlsson, R.M. 1984. *Influence of root zone oxygen stress on potassium and ammonium absorption by Myrobalan plum rootstock.* Plant and Soil. 80, 345-353.
- Ruark, G.A., Mader, D.L. & Tattar, T.A. 1982. *The influence of soil compaction and aeration on the root growth and vigour of trees - A literature review. Part 1.* Arboricultural Journal. 6, 251-265.
- Russel, E.W. 1973. *Soil Conditions and Plant Growth* (10th Edition). Longmans, London.
- Schulte-Karring, H. 1985. Einsatz und auswirkung des Ahrwieler Meliorationsverfahrens in verdichteten Böden unter besonderer berücksichtigung des Gemüse-, Obst- und Wienbau. *Die Gefügemelioration durch Tieflockerung - Bisherige Erfahrungen und Ergebnisse.* DVWK Schriften 70. 139-265. Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Schulte-Karring, H. 1988. *150 Jahre Technik der Tieflockerung.* Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Lantwirtschaft, Weinbau und Gartenbau. Bad Neuenahr-Ahrweiler.
- SGU. 1980. Beskrivning till jordartskartan Malmö SO. *Jordartsgeologiska kartblad skala 1:50000. Serie Ae Nr 38.* Sveriges Geologiska undersökning.
- SGU. 1981. Beskrivning till jordartskartan Helsingborg SV. *Jordartsgeologiska kartblad skala 1:50000. Serie Ae Nr 16.* Sveriges Geologiska Undersökning.
- Smiley, E.T., Watson, G.W., Fraedrich, B.R. & Booth, C.B. 1990. *Evaluation of soil aeration equipment.* Journal of Arboriculture. 16, 118-123.
- Soane, B.D., Blackwell, P.S., Dickson, J.W. & Painter, D.J. 1981 b. Compaction by agricultural vehicles: A review. II. Compaction under tyres and other running gear. *Soil and Tillage Research*, 1, 373-400.
- Sommer, C. 1976. Über die Verdichtungsempfindlichkeit von Ackerböden. *Grundlage der Landtechnik*, 26, 14-23.
- Stolzy, L.H. & Sojka, R.E. (1984). Effects of Flooding on Plant Disease. In T.T. Kozlowski (Ed), *Flooding and plant growth.* Academic Press Inc, New York.
- Svensk Byggtjänst, 1983. Mark AMA 83. Allmän material- och arbetsbeskrivning för markarbeten. Stockholm.
- Svensk Byggtjänst, 1983. RA 83 Mark. Råd och anvisningar till Mark AMA 83. Stockholm.

- Söhne, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agric. Eng., St. Joseph, MI*, 39: 276-281, 290.
- Taylor, S.A. (1972). The influence of porosity on aeration. In G.L. Ashcroft (Ed.), *Physical Edaphology. The Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils*, 370-375. Freeman & Co., San Francisco.
- Toma, D. 1982. *Methods and equipment for deep loosening of soil*. AGRI/MECH Report 95. New York: United Nations.
- Troedsson, T. & Nykvist, N. 1973. *Marklära och markvård*. 403 s. Stockholm: Almqvist & Wiksell. 94-95.
- Trouse, A.C. 1966. Alteration of the infiltration permeability capacity of tropical soils by vehicular traffic. *Proc. 1st Pan-American Soil Conserv. Cong., Sao Paulo, Brazil*, 1103-1109.
- Trädgårdsmaskiner. 1990/91. Falun: Grönytekonsult.
- White, R.E. 1979. Effects of poor soil aeration on root and microbial activity. pp 104-106. In *Introduction to the Principles and Practice of Soil Science*. Blackwell Scientific Publication.
- Wiersum, L.K. 1957. *The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots*. *Plant and Soil*. 9(1), 75-85.
- Yelenoski, G. 1963. *Soil aeration and tree growth*. *Int. Shade Tree Conf. Proc.* 39, 16-25.
- Yelenosky, G. 1964. Tolerance of trees to deficiencies of soil aeration. *International Shade Tree Conf. Proc.* 40, 127-147.
- Youngs, E.G. 1987. Estimating hydraulic conductivity values from ring infiltrometer measurements. *Journal of Soil Science*, 38, 623-632.
- Zisa, R.P., Halverson, H.G. & Stout, B.B. 1980. Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas. U.S. Forest Service research paper NE-451.

7 BILAGOR

I nedanstående bilagor presenteras uppsatser som publicerats och data som samlats in under projektets gång. En hel del av datan finns redovisade i uppsatserna, en del inte, så allt redovisas för att det skall vara komplett.

7.1 Soil improvement and increased growth response from subsoil cultivation

7.2 Soil physical effects of pneumatic subsoil loosening using a Teralift soil aerator

7.3 Soil- compaction and loosening effects on soil physics and tree growth

7.4 Markkemiska data

7.5 Textur

7.6 Vattengenomsläpplighet

7.7 Volymsrelationer

7.8 Genomsläpplighet för luft

7.9 Korn- och skrymdensiteter

7.10 Penetrationsmotstånd

7.11 Tillväxt hos plantmaterialet

7.12 Skörd av korn

7.4 Markkemiska data

Tabell 7.1. Resultat av markkemisk analys

		Fosfor mg/100 g				Kalium mg/100 g				mg/100 g		
		Lättlösl P-Al		Förråd P-HCl		Lättlösl K-Al		Förråd K-HCl				
Parcell	pH	Tal	Klass	Tal	Klass	Tal	Klass	Tal	Klass	Mg- Al	Ca- Al	K/Mg - kvot
A	7.8	13.9	IV	35	II	8.8	III	102	III	8	414	1.1
B	7.8	14.8	IV	42	III	8.0	II	112	III	8	352	1.0
C	7.9	16.0	IV	42	III	9.9	III	147	III	11	638	0.9
D	7.9	16.9	V	45	III	11.2	III	153	III	12	756	0.9
E	7.8	15.5	IV	38	II	10.1	III	148	III	11	622	0.9
F	8.0	26.5	V	71	IV	18.8	IV	205	IV	12	940	1.6
G	7.9	21.3	V	61	IV	14.4	III	185	III	10	660	1.4
H	7.8	19.4	V	60	III	13.5	III	181	III	10	600	1.4
I	7.9	21.7	V	57	III	14.3	III	180	III	10	594	1.4
J	7.8	19.8	V	57	III	10.0	III	169	III	10	604	1.0

7.5 Textur

Tabell 7.2. Resultat av texturanalys, Alnarp

Parcell, Djup m		LER	FMJ	GMJ	FMO	GMO	MS	GS	MULL
A	0,2-0,3	10.9	2.9	6.2	8.0	23.3	31.2	14.9	1.6
	0,3-0,4	12.9	3.3	6.5	10.0	22.2	30.4	11.2	2.2
	0,4-0,5	7.8	2.0	3.7	6.5	23.9	35.1	19.6	0.7
	0,5-0,6	11.5	2.6	6.0	10.1	25.3	29.8	12.1	1.5
	0,6-0,7	7.4	2.1	3.6	4.8	27.0	38.7	15.8	0.7
B	0,0-0,1	13.8	3.4	5.5	12.3	22.1	30.0	9.8	1.8
	0,1-0,2	14.1	4.4	5.4	10.9	23.4	29.0	9.5	2.0
	0,2-0,3	14.7	4.0	7.5	10.2	24.4	28.2	7.6	1.9
	0,3-0,4	12.4	3.5	6.0	10.3	21.9	31.8	11.0	1.8
	0,4-0,5	11.2	3.4	6.0	8.7	19.8	34.9	13.0	1.8
	0,5-0,6	6.2	1.1	4.0	3.4	8.6	47.1	28.5	0.5
	0,6-0,7	4.4	1.2	2.0	3.4	7.3	61.0	19.7	0.4
C	0,2-0,3	14.2	4.9	7.3	10.0	22.0	28.2	9.8	2.3
	0,3-0,4	14.1	3.1	8.6	10.2	21.9	28.2	10.1	2.4
	0,4-0,5	10.7	4.2	7.6	10.3	21.2	32.5	10.5	1.8
	0,5-0,6	11.0	2.5	7.0	9.0	21.0	36.1	10.9	1.3
	0,6-0,7	9.6	3.1	5.3	8.1	22.0	38.6	11.2	1.1
D	0,0-0,1	14.7	4.5	8.4	10.5	20.5	26.8	10.8	2.4
	0,1-0,2	15.3	5.5	7.4	10.0	22.8	25.8	9.4	2.3
	0,2-0,3	14.4	6.7	7.1	12.0	24.9	32.1	0.0	1.4
	0,3-0,4	17.9	5.0	7.7	12.9	23.7	18.7	11.5	0.8
	0,4-0,5	17.4	5.2	9.7	12.8	26.1	17.2	9.3	0.7
	0,5-0,6	15.5	8.1	12.5	13.2	24.1	14.9	10.0	0.2
	0,6-0,7	17.3	9.2	11.9	13.7	22.7	14.7	8.8	0.0
E	0,0-0,1	16.4	5.1	7.7	12.5	21.4	22.8	10.2	2.2
	0,1-0,2	17.8	4.8	8.5	10.6	21.8	23.4	9.2	2.1
	0,2-0,3	19.0	6.2	7.8	11.9	23.4	20.9	7.5	1.5
	0,3-0,4	22.8	6.1	9.2	12.8	23.4	16.6	6.5	0.5

Tabell 7.3. Resultat av texturanalys, Landskrona

Parcell, Djup m		LER	FMJ	GMJ	FMO	GMO	MS	GS	MULL
F	0,2-0,3	19.4	5.1	12.1	13.7	23.6	17.1	4.6	2.7
	0,3-0,4	20.6	5.6	10.3	13.9	23.3	16.1	5.4	2.8
	0,4-0,5	21.6	7.5	11.1	14.6	22.5	13.8	4.5	2.4
	0,5-0,6	25.3	7.1	11.9	14.2	20.1	12.8	4.3	2.0
	0,6-0,7	27.0	8.3	10.6	15.8	20.5	10.7	3.0	1.7
G	0,2-0,3	23.0	5.0	11.7	16.1	20.6	15.0	4.0	2.5
	0,3-0,4	23.2	5.4	10.6	13.4	22.3	15.5	5.2	2.3
	0,4-0,5	24.1	6.1	10.2	13.5	21.3	15.7	4.8	2.1
	0,5-0,6	28.9	6.9	11.9	13.0	19.7	11.6	3.9	1.7
	0,6-0,7	31.2	9.7	12.4	12.8	18.6	8.8	2.8	1.2
H	0,2-0,3	22.5	6.0	10.2	12.7	22.3	16.5	5.2	2.5
	0,3-0,4	25.1	7.4	11.0	12.7	21.4	14.0	4.1	2.2
	0,4-0,5	34.2	7.9	11.5	14.7	17.5	7.6	3.4	0.6
	0,5-0,6	40.8	9.1	11.3	12.9	15.1	6.0	2.2	0.0
	0,6-0,7	36.5	8.4	12.3	14.9	16.6	6.7	2.3	0.0
I	0,0-0,1	21.7	6.0	10.8	15.8	24.0	14.0	3.3	2.3
	0,1-0,2	20.7	6.6	7.9	15.8	22.7	19.3	2.3	2.7
	0,2-0,3	21.1	5.5	8.4	17.4	23.2	18.1	1.5	2.8
	0,3-0,4	22.9	6.9	8.8	16.5	23.4	14.6	2.9	1.9
	0,4-0,5	26.2	7.3	8.1	18.1	20.9	11.4	4.8	0.9
	0,5-0,6	37.8	6.4	8.4	17.4	17.0	6.8	2.7	0.8
	0,6-0,7	28.3	6.1	11.3	21.4	18.2	7.3	4.5	0.4
J	0,0-0,1	20.0	6.5	7.6	15.7	22.7	16.7	6.2	2.7
	0,1-0,2	20.3	5.2	7.6	16.9	23.0	16.5	5.9	2.7
	0,2-0,3	20.5	5.2	8.3	15.4	24.2	16.9	4.7	2.7
	0,3-0,4	23.5	5.5	9.2	16.9	22.3	13.3	4.8	2.3
	0,4-0,5	26.0	6.9	10.3	17.3	22.2	10.4	4.1	0.6
	0,5-0,6	32.2	9.5	7.9	19.9	17.9	7.6	2.7	0.0
	0,6-0,7	35.1	10.2	10.7	15.9	16.8	6.5	2.2	0.0

7.6 Vattengenomsläpplighet

Tabell 7.4. Medianvärden för vattengenomsläpplighet (cm/h) i provprop-
parna, 1987, Alnarp

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1				2.6	0.2
0,1-0,2				0.0	0.7
0,2-0,3	6.7	19.2	4.4	0.0	0.0
0,3-0,4	7.7	7.0	2.3	0.0	0.3
0,4-0,5	1.0	1.1	0.1	0.1	10.2
0,5-0,6	1.3		0.0	4.6	3.3
0,6-0,7	2.8		0.8	1.8	2.5

Tabell 7.5. Medianvärden för vattengenomsläpplighet (cm/h) i provprop-
parna, 1987, Landskrona

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1				0.0	10.7
0,1-0,2				0.0	26.7
0,2-0,3	30.2	4.3	31.3	0.0	36.1
0,3-0,4	11.3	0.1	0.0	1.9	0.0
0,4-0,5	0.3	0.4	0.0	0.4	17.1
0,5-0,6	0.5	0.4	0.0	0.1	16.2
0,6-0,7	1.1	3.8	0.8	5.3	1.0

Tabell 7.6. Medianvärden för vattengenomsläpplighet (cm/h) i provprop-
parna, 1988, Alnarp

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				0.0	0.0
0,2-0,3	1.0	12.6	6.8	1.1	0.0
0,3-0,4	0.7	5.7	0.0	0.0	0.3
0,4-0,5	0.2	1.5	0.0	0.0	0.8
0,5-0,6	0.1	0.5		0.0	6.7
0,6-0,7					

Tabell 7.7. Medianvärden för vattengenomsläpplighet (cm/h) i provprop-
parna, 1988, Landskrona

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				0.0	27.7
0,2-0,3	19.3	24.0	17.4	0.0	21.8
0,3-0,4	12.6	3.7	0.0	0.7	1.8
0,4-0,5	10.1	0.0	0.0	0.8	15.3
0,5-0,6	1.1	0.6	0.5	0.0	
0,6-0,7					

Tabell 7.8. Mättad hydraulisk konduktivitet (mm h^{-1}), i fält, för Alnarp.
Värdena är slutvärden efter 2-2,5 timmars genomströmning

	A	B	C	D	E
Medel	232.1	146.4	46.3	17.9	53.2
Min	76.3	56.6	5.3	5.3	33.1
Median	278.6	186.0	44.8	16.0	60.7
Max	341.6	249.8	88.9	32.3	65.8

Tabell 7.9. Mättad hydraulisk konduktivitet (mm h^{-1}), i fält, på 0,25 m djup
för Alnarp. Värdena är slutvärden efter 2-2,5 timmars genomströmning

	A	B	C
Medel	56,8	57,8	4,1
Min	46,7	7,5	0,0
Median	54,3	24,4	1,6
Max	69,3	141,5	10,6

Tabell 7.10. Mättad hydraulisk konduktivitet (mm h^{-1}), i fält, för Landsk-
rona. Värdena är slutvärden efter 2-2,5 timmars genomströmning

	F	G	H	I	J
Medel	384.2	281.7	261.0	10.8	40.6
Min	202.2	84.0	154.7	5.3	21.6
Median	419.3	338.2	250.7	10.9	22.1
Max	531.0	423.0	377.4	16.3	78.1

7.7 Volymsrelationer

Tabell 7.11. Porvolym 1987, Alnarp

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1				37.7	39.1
0,1-0,2				31.5	36.3
0,2-0,3	41.4	47.3	43.1	31.8	33.5
0,3-0,4	46.9	46.0	40.3	34.2	38.6
0,4-0,5	40.7	46.6	34.5	38.8	41.6
0,5-0,6	41.4		31.3	40.8	41.2
0,6-0,7	41.8		32.1	37.9	38.9

Tabell 7.12. Porvolym 1987, Landskrona

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1				37.0	44.5
0,1-0,2				36.2	48.3
0,2-0,3	47.6	45.9	46.9	36.8	45.7
0,3-0,4	45.9	35.2	41.2	37.0	38.0
0,4-0,5	40.0	35.3	39.9	38.2	41.3
0,5-0,6	36.7	37.3	41.1	43.9	41.5
0,6-0,7	39.4	40.2	42.0	39.3	39.5

Tabell 7.13. Porvolym 1988, Alnarp

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				31.4	36.4
0,2-0,3	46.0	45.4	42.0	32.2	34.7
0,3-0,4	46.6	42.4	39.0	34.5	39.2
0,4-0,5	45.0	43.7	31.6	38.4	41.7
0,5-0,6	42.2	44.4		35.2	43.6

Tabell 7.14. Porvolym 1988, Landskrona

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				35.5	49.8
0,2-0,3	47.4	46.1	45.7	34.5	44.3
0,3-0,4	46.3	42.7	41.5	35.3	42.2
0,4-0,5	43.6	35.9	38.5	37.9	38.0
0,5-0,6	42.8	38.8	40.9	38.0	

Tabell 7.15. Luftfylld porvolym för Alnarp vid 1,0 m vattenavförande tryck (makroporer, >0,03 mm), 1987. De **markerade** siffrorna är lägre än gränsvärdet 10 %

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1				10,7	11,4
0,1-0,2				4,0	7,2
0,2-0,3	16,5	23,7	18,4	4,2	4,5
0,3-0,4	23,2	24,1	15,1	5,6	8,6
0,4-0,5	23,1	24,8	6,8	10,5	13,0
0,5-0,6	15,9		8,3	14,2	14,1
0,6-0,7	31,7		12,3	13,1	12,4

Tabell 7.16. Luftfylld porvolym för Landskrona vid 1,0 m vattenavförande tryck (makroporer, >0,03 mm), 1987. De **markerade** siffrorna är lägre än gränsvärdet 10 %

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1				4,9	12,7
0,1-0,2				2,8	18,3
0,2-0,3	16,4	14,1	15,7	4,0	15,1
0,3-0,4	13,7	2,4	6,3	6,8	6,6
0,4-0,5	9,2	4,1	2,1	7,3	10,5
0,5-0,6	6,3	3,7	4,9	6,3	8,0
0,6-0,7	8,7	6,5	8,3	9,4	7,6

Tabell 7.17. Luftfylld porvolym för Alnarp vid 1,0 m vattenavförande tryck (makroporer, >0,03 mm), 1988. De **markerade** siffrorna är lägre än gränsvärdet 10 %

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				4,2	7,2
0,2-0,3	26,3	22,7	16,2	5,2	5,5
0,3-0,4	28,0	19,7	12,5	4,3	8,8
0,4-0,5	27,1	20,0	5,2	7,8	12,2
0,5-0,6	22,9	22,1		7,7	12,6

Tabell 7.18. Luftfylld porvolym för Landskrona vid 1,0 m vattenavförande tryck (makroporer, >0,03 mm), 1988. De markerade siffrorna är lägre än gränsvärdet 10 %

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				2,8	22,1
0,2-0,3	19,0	16,4	14,1	1,9	13,0
0,3-0,4	15,6	11,1	8,2	4,2	11,8
0,4-0,5	12,8	3,2	1,0	4,6	11,3
0,5-0,6	10,6	5,6	3,3	4,2	

Tabell 7.19. Porer 0,03-0,005 mm, Alnarp, 1987

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1				4,0	4,1
0,1-0,2				2,2	3,4
0,2-0,3	4,2	3,8	3,7	2,2	3,3
0,3-0,4	4,8	3,9	3,5	3,0	3,5
0,4-0,5	4,7	4,2	4,2	4,6	3,7
0,5-0,6	5,4		3,8	4,5	4,3
0,6-0,7	2,7		3,3	4,0	4,1

Tabell 7.20. Porer 0,03-0,005 mm, Landskrona, 1987

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1				3,1	3,8
0,1-0,2				2,3	3,6
0,2-0,3	3,6	3,7	3,4	2,6	3,6
0,3-0,4	3,5	1,8	3,0	2,6	3,0
0,4-0,5	3,0	1,8	1,8	2,6	3,0
0,5-0,6	2,0	2,0	2,3	2,2	2,8
0,6-0,7	2,4	2,7	2,9	2,5	2,6

Tabell 7.21. Porer 0,03-0,005 mm, Alnarp, 1988

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				3,0	4,7
0,2-0,3	5,1	3,5	4,1	2,7	3,0
0,3-0,4	5,5	3,9	4,7	3,0	3,8
0,4-0,5	4,1	3,9	3,6	4,3	3,6
0,5-0,6	3,7	3,2		4,6	3,6

Tabell 7.22. Porer 0,03-0,005 mm, Landskrona, 1988

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				2.4	3.9
0,2-0,3	2.9	3.1	4.3	2.3	4.0
0,3-0,4	3.1	3.2	3.4	1.9	3.5
0,4-0,5	3.1	2.4	1.5	3.3	3.5
0,5-0,6	3.0	2.6	1.7	2.6	

Tabell 7.23. Porer <0,005 mm, Alnarp, 1987

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1				23.0	23.6
0,1-0,2				25.2	25.6
0,2-0,3	20.6	19.8	20.9	25.4	25.6
0,3-0,4	18.9	18.1	21.7	25.8	26.5
0,4-0,5	12.9	17.6	23.5	23.6	24.9
0,5-0,6	20.3		19.1	22.1	22.8
0,6-0,7	7.4		16.5	20.8	22.3

Tabell 7.24. Porer <0,005 mm, Landskrona, 1987

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1				29.1	28.0
0,1-0,2				31.1	26.7
0,2-0,3	27.7	28.1	27.7	30.2	27.0
0,3-0,4	28.6	30.9	31.9	27.9	28.4
0,4-0,5	27.8	30.0	36.0	28.2	27.8
0,5-0,6	28.4	31.9	33.9	35.4	30.7
0,6-0,7	28.3	31.2	30.8	27.4	29.3

Tabell 7.25. Porer <0,005 mm, Alnarp, 1988

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				24.1	24.4
0,2-0,3	14.6	19.2	21.8	24.3	26.2
0,3-0,4	13.1	18.7	21.8	27.2	26.5
0,4-0,5	13.8	19.7	22.8	26.3	25.9
0,5-0,6	15.6	19.0		23.0	27.3

Tabell 7.26. Porer <0,005 mm, Landskrona, 1988

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				30.3	23.7
0,2-0,3	25.4	26.6	27.3	30.2	27.3
0,3-0,4	27.7	28.4	29.9	29.2	26.9
0,4-0,5	27.7	30.4	36.0	30.0	23.1
0,5-0,6	29.2	30.5	35.8	31.2	

Tabell 7.27. Mängden växttillgängligt vatten (vol-%) för Alnarp 1987, vid 1,0 m vattenavförande tryck

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1				15.59	15.79
0,1-0,2				14.20	16.55
0,2-0,3	17.77	14.34	15.58	14.84	14.36
0,3-0,4	15.20	14.14	15.03	14.60	14.43
0,4-0,5	12.58	14.83	18.18	14.98	11.72
0,5-0,6	18.19		14.77	16.78	13.64
0,6-0,7	5.15		12.66	14.23	12.24

Tabell 7.28. Mängden växttillgängligt vatten (vol-%) för Landskrona 1987, vid 1,0 m vattenavförande tryck

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1				16.08	18.90
0,1-0,2				16.18	18.72
0,2-0,3	18.13	16.25	16.36	16.82	17.74
0,3-0,4	17.84	14.19	16.60	13.85	15.22
0,4-0,5	12.38	12.38	15.41	13.45	13.58
0,5-0,6	8.85	12.54	7.29	13.26	10.46
0,6-0,7	9.00	11.96	9.02	9.77	8.29

Tabell 7.29. Mängden växttillgängligt vatten (vol-%) för Alnarp 1988, vid 1,0 m vattenavförande tryck

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				14.27	16.82
0,2-0,3	13.13	13.28	16.64	14.16	15.29
0,3-0,4	10.00	14.25	16.07	15.69	14.92
0,4-0,5	13.26	16.34	16.42	16.77	9.69
0,5-0,6	11.68	19.17		17.01	17.80
0,6-0,7					

Tabell 7.30. Mängden växttillgängligt vatten (vol-%) för Landskrona 1988, vid 1,0 m vattenavförande tryck

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				15.55	16.79
0,2-0,3	15.27	14.74	16.99	15.89	18.25
0,3-0,4	16.65	15.43	14.91	14.02	15.43
0,4-0,5	13.82	13.88	14.44	15.14	8.44
0,5-0,6	13.12	12.68	9.76	7.55	
0,6-0,7					

7.8 Genomsläpplighet för luft

Tabell 7.31. Medelvärden för luftgenomsläpplighet, cm min^{-1} , Alnarp 1988

Djup, m	A	B	C	D	E
0-0,1					
0,1-0,2				6	367
0,2-0,3	355	436	382	198	7
0,3-0,4	101	323	24	12	41
0,4-0,5	78	168	11	8	123
0,5-0,6	144	249		7	149

Tabell 7.32. Medelvärden för luftgenomsläpplighet, cm min^{-1} , Landskrona 1988

Djup, m	F	G	H	I	J
0-0,1					
0,1-0,2				66	2587
0,2-0,3	1277	660	738	2	448
0,3-0,4	432	49	7	64	58
0,4-0,5	311	12	0.6	50	1210
0,5-0,6	139	13	15	22	

7.9 Korn- och skrymdensiteter

Tabell 7.33. Korndensitet (Mg m^{-3}) för undersökta djup

Djup, m	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0-0,1				2.62	2.59				2.60	2.61
0,1-0,2				2.62	2.59				2.62	2.61
0,2-0,3	2.60	2.62	2.61	2.63	2.63	2.62	2.60	2.61	2.61	2.60
0,3-0,4	2.61	2.61	2.61	2.66	2.67	2.62	2.62	2.65	2.64	2.63
0,4-0,5	2.64	2.61	2.62	2.65	2.69	2.64	2.65	2.68	2.69	2.69
0,5-0,6	2.61	2.65	2.62	2.68	2.70	2.66	2.67	2.73	2.70	2.70
0,6-0,7	2.65		2.63	2.67	2.69	2.65	2.68	2.72	2.70	2.69

Tabell 7.34. Torra skrymdensiteten (Mg m^{-3}) för undersökta djup, 1987

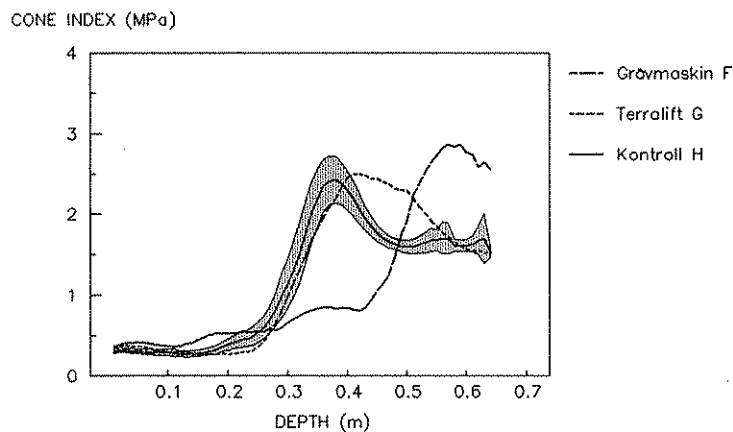
Djup, m	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0-0,1				1.63	1.58				1.64	1.45
0,1-0,2				1.80	1.65				1.67	1.35
0,2-0,3	1.52	1.38	1.49	1.79	1.75	1.37	1.41	1.39	1.65	1.41
0,3-0,4	1.39	1.41	1.56	1.75	1.64	1.42	1.70	1.56	1.66	1.63
0,4-0,5	1.57	1.39	1.72	1.62	1.57	1.59	1.72	1.61	1.66	1.58
0,5-0,6	1.52		1.80	1.59	1.59	1.68	1.67	1.61	1.52	1.58
0,6-0,7	1.54		1.79	1.66	1.64	1.61	1.60	1.58	1.64	1.63

Tabell 7.35. Torra skrymdensiteten (Mg m^{-3}) för undersökta djup, 1988

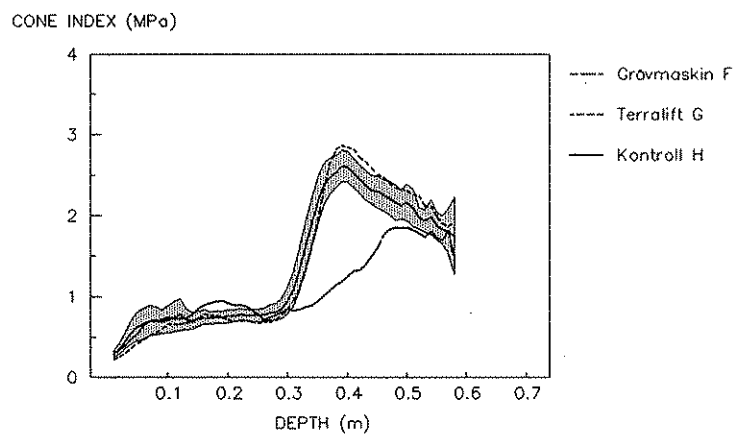
[illegible]

Tabell 7.36. Svällningsfaktorn i procent för de luckrade parceller, 1987 och 1988. **Markerade** värden baseras på signifikanta skillnader i skrymdensitet

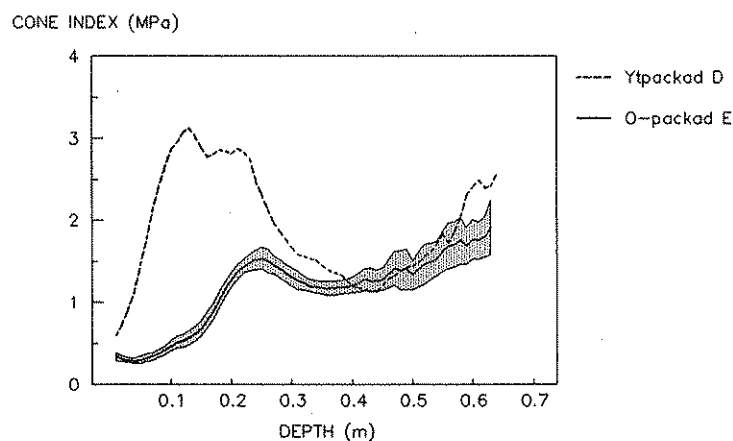
Djup, m	A-87	A-88	B-87	B-88	F-87	F-88	G-87	G-88
0,2-0,3	-2.0	7.9	8.0	5.6	1.5	2.9	-1.5	1.4
0,3-0,4	12.2	14.4	10.6	6.0	9.9	9.9	-8.2	3.3
0,4-0,5	9.5	23.4	23.7	21.8	1.3	10.7	-6.4	-2.9
0,5-0,6	18.4				-4.2	5.9	-3.6	-1.2
0,6-0,7	16.2				-1.9		-1.3	



Figur 7.4. Penetrationsmotstånd för parcellerna F, G och H, 0,5 år efter behandling. Runt kontrollkurvan H är ett 95 %-igt konfidensintervall utritat. $n = 30$



Figur 7.5. Penetrationsmotstånd för parcellerna F, G och H, 2,5 år efter behandling. Runt kontrollkurvan H är ett 95 %-igt konfidensintervall utritat. $n = 30$



Figur 7.6. Penetrationsmotstånd för parcellerna D och E, 0,5 år efter behandling. Runt kontrollkurvan E är ett 95 %-igt konfidensintervall utritat. $n = 30$

7.11 Tillväxt hos plantmaterialet

Tabell 7.37. Medelvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Alnarp, parcell A, B och C

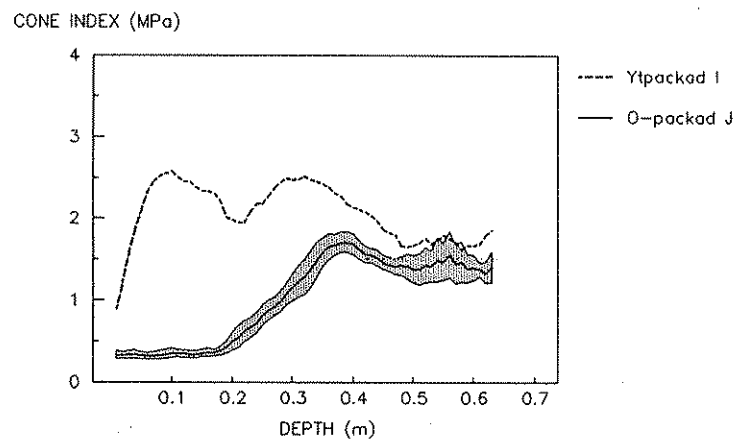
	A				B				C			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	56	738	560	285	40	510	316	390	43	512	256	288
Hassel	152	342	334		125	311	230		118	325	246	
Ask	88	364	580	433	81	72	368	258	94	87	342	273
Oxel	167	228	412	360	163	206	250	448	203	244	317	378
Ek	113	385	494	608	73	270	388	585	109	358	394	678

Tabell 7.38. Medianvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Alnarp, parcell A, B och C

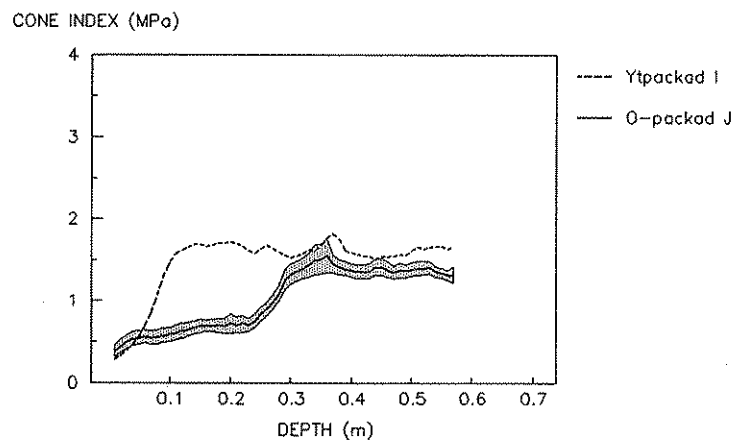
	A				B				C			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	60	725	710	330	45	500	260	335	32	515	170	310
Hassel	130	320	290		100	300	200		115	335	230	
Ask	105	175	530	420	90	40	340	300	82	90	360	330
Oxel	170	255	360	360	170	175	230	410	205	260	310	350
Ek	110	350	400	630	80	290	360	655	110	330	310	643

Tabell 7.39. Medelvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Landskrona, parcell F, G och H

	F				G				H			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	90	456	349	353	37	561	170	428	26	597	152	314
Hassel	231	315	241		194	226	211		169	240	245	
Ask	62	127	410	406	109	168	391	416	123	222	376	334
Oxel	114	265	462	361	93	307	390	330	123	310	374	328
Ek	113	137	182	255	103	176	196	220	70	192	160	267



Figur 7.7. Penetrationsmotstånd för parcellerna I och J, 0,5 år efter behandling. Runt kontrollkurvan J är ett 95 %-igt konfidensintervall utritat. $n = 30$



Figur 7.8. Penetrationsmotstånd för parcellerna I och J, 2,5 år efter behandling. Runt kontrollkurvan J är ett 95 %-igt konfidensintervall utritat. $n = 30$

Tabell 7.40. Medianvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Landskrona, parcell F, G och H

	F				G				H			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	50	580	215	350	25	460	170	428	18	660	187	310
Hassel	230	335	310		190	170	210		135	210	300	
Ask	70	170	440	440	100	130	385	435	150	220	410	350
Oxel	95	270	460	330	95	300	395	350	115	300	385	330
Ek	93	133	192	255	80	200	190	160	30	200	130	350

Tabell 7.41. Medelvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Alnarp, parcell D och E

	D				E			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	26	138	249	200	45	500	538	437
Hassel	76	115	296		116	290	412	
Ask	56	104	334	198	115	196	441	437
Oxel	107	90	173	225	148	296	342	360
Ek	39	106	174	495	82	484	368	660

Tabell 7.42. Medianvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Alnarp, parcell D och E

	D				E			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	10	20	215	225	45	520	620	415
Hassel	70	115	270		100	240	300	
Ask	62	60	320	140	105	250	420	450
Oxel	90	90	180	195	150	280	340	370
Ek	35	50	140	415	65	490	300	710

Tabell 7.43. Medelvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Landskrona, parcell I och J

	I				J			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	14	59	45	295	30	319	188	303
Hassel	95	110	141		175	242	278	
Ask	76	17	79	265	72	115	372	395
Oxel	61	60	133	215	151	298	199	259
Ek	36	57	111	211	71	131	331	238

Tabell 7.44. Medianvärden i mm, för toppskottstillväxt 1987-1990, för Landskrona, parcell I och J

	I				J			
	-87	-88	-89	-90	-87	-88	-89	-90
Lönn	15	20	45	295	10	340	120	300
Hassel	80	80	137		180	200	300	
Ask	70	15	85	265	72	115	372	400
Oxel	75	30	130	180	140	310	300	265
Ek	35	70	65	220	27	135	322	235

Tabell 7.45. Medelvärden i mm, för totalhöjd 1990, efter 4 års tillväxt för Alnarp

	A	B	C	D	E
Lönn	2022	1530	1280	690	1777
Hassel	1318	864	914	706	1300
Ask	1984	1402	1208	918	1688
Oxel	1550	1315	1452	898	1592
Ek	1954	1478	1460	998	1764

Tabell 7.46. Medianvärden i mm, för totalhöjd 1990, efter 4 års tillväxt för Alnarp

	A	B	C	D	E
Lönn	2040	1480	1110	630	1775
Hassel	1320	820	1000	740	1300
Ask	2000	1430	1250	750	1800
Oxel	1580	1350	1465	890	1550
Ek	1880	1470	1360	910	1760

Tabell 7.47. Medelvärden i mm, för totalhöjd 1990, efter 4 års tillväxt för Landskrona

	F	G	H	I	J
Lönn	1541	1280	1482	653	1110
Hassel	985	1133	1245	744	1172
Ask	1420	1685	1540	941	1347
Oxel	1724	1705	1644	891	1526
Ek	1342	940	1392	1016	1139

Tabell 7.48. Medianvärden i mm, för totalhöjd 1990, efter 4 års tillväxt för Landskrona

	F	G	H	I	J
Lönn	1620	1280	1350	653	1043
Hassel	970	1133	1250	755	1020
Ask	1320	1615	1555	855	1265
Oxel	1745	1735	1590	850	1495
Ek	1342	1090	1450	935	1178

Tabell 7.49. Medelvärden i gram, för biomassa 1990, efter 4 års tillväxt för Alnarp

	A	B	C	D	E
Lönn	363	263	153	41	262
Hassel	674	314	367	115	551
Ask	576	223	211	102	458
Oxel	284	266	332	96	593
Ek	902	682	394	174	567

7.12 Skörd av korn

PAR-CELL	VATTEN-HALT	NETTO	RENSAD KÄRNA	TUSEN-KORN-VIKT	RYMD-VIKT
	%	kg/ha	kg/ha	gram	g/l
A1	9,5	6465	3855	40,70	672
A2	9,5	8165	4770	39,10	676
		7315	4312	39,90	674
B1	9,1	5505	3185	37,25	664
B2	9,4	5755	3150	36,00	668
		5630	3167	36,62	666
C1	9,4	6690	4030	42,95	696
C2	9,3	8475	5020	40,55	692
		7582	4525	41,75	694
D1	9,5	4930	2740	42,75	692
D2	9,6	6065	3225	40,40	688
		5497	2982	41,57	690
E1	9,5	7275	3855	40,80	688
E2	9,7	8520	5170	40,10	700
		7897	4512	40,45	694
F1	9,5	8825	4975	40,75	704
F2	9,6	9225	5175	38,85	688
		9025	5075	39,80	696
G1	9,8	9080	5330	40,25	696
G2	9,8	9170	5210	38,10	692
		9125	5270	39,17	694
H1	9,7	9730	5720	39,85	696
H2	9,5	9600	5660	41,40	700
		9665	5690	40,62	698
I1	9,6	7805	4830	43,20	700
I2	9,7	7830	4535	43,85	700
		7817	4682	43,52	700
J1	9,5	8960	5345	38,70	692
J2	9,6	9015	5470	38,25	692
		8987	5407	38,47	692